



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**SISTEMA DE REGENERAÇÃO PARA  
ELEVADORES**

Por,  
**Igor Vasconcelos Cavalcante**

**Brasília, 23 de Novembro de 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASILIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA**

UNIVERSIDADE DE BRASILIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**SISTEMA DE REGENERAÇÃO PARA  
ELEVADORES**

POR,

**Igor Vasconcelos Cavalcante**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

**Banca Examinadora**

Prof. Thiago Doca, UnB/ ENM (Orientador).

\_\_\_\_\_

Prof. Antônio Manoel Dias Henriques, UnB/ ENM.

\_\_\_\_\_

Prof. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM.

\_\_\_\_\_

Brasília, 23 de Novembro de 2016

### **Dedicatória**

*Dedico este trabalho às pessoas que se fizeram presentes em minha vida acadêmica, aos amigos, aos familiares e à minha namorada. Em especial aos meus pais, Vicente Ferrer Viana Cavalcante e Leila Mara Almeida de Vasconcelos, e à minha avó, Diva Maria Vasconcelos, que são fonte inestimável de inspiração e apoio.*

*Igor Vasconcelos Cavalcante*

---

## **RESUMO**

O presente trabalho aborda a problemática da redução do consumo de energia elétrica em elevadores de passageiros utilizados em edifícios residenciais do Distrito Federal. Para tanto, é desenvolvida uma metodologia de análise da viabilidade da instalação de um dispositivo de regeneração de energia no sistema de elevação de dois edifícios residenciais, um localizado na Asa Norte e outro localizado em Águas Claras.

Palavras-chaves: Consumo de energia; Viabilidade; Regeneração de energia.

---

## **ABSTRACT**

This report addresses the problem of reducing energy consumption on elevators employed in residential buildings in the Distrito Federal. Therefore, a methodology was developed to analyze the viability of installing an energy regeneration device in the elevation system of two residential buildings, one located in the North Wing and another located in Águas Claras.

Keywords: Energy consumption; Viability; Energy regeneration.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2	MOTIVAÇÃO .....	3
1.3	OBJETIVOS .....	4
1.4	METODOLOGIA .....	4
1.5	ESTRUTURA DO TEXTO .....	5
<b>2</b>	<b>ELEVADORES .....</b>	<b>7</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS E NORMAS .....	7
2.2	COMPONENTES EXTRUTURAIS .....	9
2.2.1	CABINA .....	9
2.2.2	GUIAS .....	11
2.2.3	POÇO .....	11
2.2.4	CONTRAPESO .....	12
2.2.5	DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO .....	13
2.3	SISTEMA DE ACIONAMENTO E CONTROLE .....	13
2.3.1	MÁQUINA DE TRAÇÃO .....	15
2.3.2	MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA (CA) .....	15
2.3.3	MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA (CC) .....	16
2.3.4	FREIO .....	17
2.3.5	DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA .....	18
2.3.6	CONTROLES ELÉTRICOS .....	19
2.4	CÁLCULO DE TRÁFEGO NOS ELEVADORES .....	19
2.5	REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA .....	21
<b>3</b>	<b>REGENERAÇÃO DE ENERGIA.....</b>	<b>23</b>
3.1	REGENERAÇÃO DE ENERGIA .....	23
3.2	MÉTODOS DE FRENAGEM ELÉTRICA .....	23
3.2.1	FRENAGEM CONTRACORRENTE.....	24
3.2.2	FRENAGEM CC .....	25
3.2.3	FRENAGEM REGENERATIVA / DINÂMICA .....	25
3.3	FRENAGEM REGENERATIVA EM AUTOMÓVEIS .....	26
3.3.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS .....	29
3.3.2	VEÍCULOS HÍBRIDOS .....	31
3.4	FRENAGEM REGENERATIVA EM TRENS DE PASSAGEIROS .....	34
3.5	FRENAGEM REGENERATIVA EM ELEVADORES DE PASSAGEIROS .....	36
<b>4</b>	<b>ESTUDO PELIMINAR.....</b>	<b>40</b>
4.1	PARAMETROS DE PROJETO .....	40
4.2	ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ENERGIA REGENERADA .....	43
4.3	POSSIBILIDADES DE USO DA ENERGIA REGENERADA .....	47
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>49</b>
5.1	METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE CASO.....	49
5.1.1	CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA CONSUMIDA .....	51
5.1.2	CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA REGENERADA .....	53
5.2	ESTUDO DE CASO I – ÁGUAS CLARAS .....	55
5.2.1	ANÁLISE DE FLUXO DE PASSAGEIROS .....	58
5.2.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS E RESULTADOS .....	59
5.3	ESTUDO DE CASO II – ASA NORTE.....	61
5.3.1	ANÁLISE DE FLUXO DE PASSAGEIROS .....	63
5.3.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS E RESULTADOS .....	65
5.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO.....	66
<b>6</b>	<b>ANÁLISE ECONÔMICA .....</b>	<b>68</b>
6.1	METODOLOGIA APLICADA À ANÁLISE ECONÔMICA.....	68
6.2	ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA AO RESIDENCIAL SEVILHA.....	71
6.3	ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA AO EDIFÍCIO ANÍSIO TEIXEIRA.....	73
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	75
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	76
7.2	TRABALHOS FUTUROS .....	76
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>78</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>
	ANEXO 1 – CÁLCULO DE CAPACIDADE DE TRÁFEGO .....	Erro! Indicador não definido.
	ANEXO 2 – CÁLCULO DE ESTIMATIVA DE ENERGIA REGENERA .....	Erro! Indicador não definido.

ANEXO 3 – PROGRAMA PARA CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA E POTENCIAL DE REGENERAÇÃO PARA O RESIDENCIAL SEVILHA (ÁGUAS CLARAS) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
ANEXO 4 – PROGRAMA PARA CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA E POTENCIAL DE REGENERAÇÃO PARA O EDIFÍCIO ANÍSIO TEIXEIRA (ASA NORTE) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
ANEXO 5 – TARIFA ENERGÉTICA .....	83
ANEXO 6 – PROGRAMA PARA ANÁLISE ECONÔMICA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia per capita em TEP/ano versus IDH, adaptado (ANDRADE; LORA; DUPAS, 2002). .....	2
Figura 2: Posicionamento dos Componentes de um elevador (SCHINDLER).....	7
Figura 3: Composição da cabina de elevadores modernos (NBR 13994, 2000).....	10
Figura 4: Dimensões da Caixa (SCHINDLER).....	12
Figura 5: Velocidade VS Tempo para cada tipo de acionamento (SCHINDLER) .....	14
Figura 6: Máquina de tração (SECTRON).....	15
Figura 7: Vista explodida de um motor CA (JULIFER).....	16
Figura 8: Motor de corrente contínua (WEG). .....	17
Figura 9: Posicionamento do sistema de frenagem (LEONESSA). .....	17
Figura 10: Freio de Foucault (VORAX). .....	18
Figura 11: Efeito da inversão de fases na Frenagem Contracorrente (OLIVEIRA, 2013). ....	24
Figura 12: Esquema de funcionamento do KERS eletrônico, adaptado (AUTORACING, 2010). .....	27
Figura 13: Unidade motor/gerador utilizado na Fórmula 1 (AUTORACING,2010). .....	27
Figura 14: KERS eletromecânico utilizado pela equipe Williams (AUTORACING, 2010)...	28
Figura 15: Veículo elétrico com apenas um motor (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	29
Figura 16: Veículo elétrico com dois motores (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	30
Figura 17: Veículo elétrico com acoplamento dos motores direto às rodas (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	30
Figura 18: Veículo elétrico com célula de hidrogênio (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	31
Figura 19: Veículo Híbrido (ROCHA; ALBERTON; OLIVEIRA, 2014). .....	31
Figura 20: Veículo híbrido montagem em série (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	32
Figura 21: Veículo híbrido montagem em paralelo (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	32
Figura 22: Veículo Híbrido com armazenamento de pico de energia (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	33
Figura 23: Veículo híbrido montagem em série-paralelo (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).....	33
Figura 24: Disposição do conjunto de resistores de frenagem (MATSUDO, 2013).....	34
Figura 25: Esquema de funcionamento da frenagem reostática (MATSUDO, 2013). .....	35
Figura 26: Esquema de funcionamento da frenagem regenerativa em trens (MATSUDO, 2013). .....	35
Figura 27: Subida do elevador vazio (DUGONSKI; ZOSCHKE, 2011).....	37
Figura 28: Descida com apenas um ocupante (DUGONSKI; ZOSCHKE, 2011). .....	38
Figura 29 - Residencial Sevilha (Autor). .....	56
Figura 30 - Elevador Atlas Schindler do Residencial Sevilha (Autor). .....	56
Figura 31 - Capacidade de carga do elevador (Autor). .....	57
Figura 32 - Edifício Anísio Teixeira (Autor). .....	61
Figura 33 – Hall Social do EDF Anísio Teixeira (Autor). .....	62
Figura 34 - Pannel do Elevador Social do EDF Anísio Teixeira (Autor). .....	62
Figura 35 - Cálculo da RTA (ANEEL, 2016). .....	69
Figura 36 - Drive Regenerativo PF1 (SCHINDLER).....	71

Figura 37 - Benefício/Custo vs Tempo. ....	73
Figura 38 - Drive Regenerativo ReGen OVF 10 (Otis, 2016). ....	73
Figura 39 - Benefício/Custo vs Tempo. ....	75



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Determinação da área máxima da cabina (NBR – NM 207, 1999).....	10
Tabela 2: Dimensões da Caixa conforme condições de operação (SCHINDLER).....	12
Tabela 3: População e Capacidade de Tráfego em 5 minutos (NBR 5665, 1983).....	20
Tabela 4: Potencial de economia em elevadores conforme a carga (PEREIRA; SANTOS, 2010). ....	39
Tabela 5: Configuração padrão dos apartamentos da Asa Sul de Brasília (BRINO, 2003).....	40
Tabela 6: Velocidades recomendadas para edifícios comerciais (SCHINDLER). ....	41
Tabela 7: Tempo de aceleração e retardo (SCHINDLER).....	41
Tabela 8: Tempo de entrada e saída de passageiros (SCHINDLER) .....	41
Tabela 9: Tempo de abertura e fechamento de portas (SCHINDLER). ....	41
Tabela 10: Parâmetros adotados .....	42
Tabela 11: Cálculo de tráfego por prumada. ....	43
Tabela 12: Resultados do estudo preliminar. ....	47
Tabela 13 - Características do Sistema de Elevação do Residencial Sevilha. ....	57
Tabela 14 - Fluxo de Passageiros descendo. ....	58
Tabela 15 - Fluxo de Passageiros subindo. ....	58
Tabela 16 - Ocupação de Passageiros na Cabina.....	59
Tabela 17 - Potências Médias do Sistema de Elevação. ....	60
Tabela 18 - Consumo de Energia.....	60
Tabela 19 - Potencial de Energia Regenerada. ....	60
Tabela 20 - Características do Sistema de Elevação do Edifício Anísio Teixeira.....	63
Tabela 21 - Fluxo de Passageiros descendo. ....	63
Tabela 22 - Fluxo de Passageiros subindo. ....	64
Tabela 23 - Ocupação de Passageiros na Cabina.....	64
Tabela 24 - Potências Médias do Sistema de Elevação. ....	65
Tabela 25 - Consumo de Energia.....	65
Tabela 26 - Potencial de Energia Regenerada. ....	66
Tabela 27 - Resultados do Estudos de Caso.....	66
Tabela 28 - Percentual de Energia Regenerada. ....	67
Tabela 29 - Reajuste Tarifário Anual (CEB, 2015).....	69
Tabela 30 - Rendimento de Poupança Acumulado de 2016 (PORTALBRASIL, 2016).....	70
Tabela 31 - Análise Econômica Residencial Sevilha. ....	72
Tabela 32 - Análise Econômica Edif. Anísio Teixeira. ....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

### Símbolos

$\Delta E_P$	Variação de energia potencial	[J]
B	Benefício	[R\$]
$BC$	Custo/Benefício	
C	Custo	[R\$]
CAB	Peso da cabina	[N]
$C_t$	Capacidade de transporte	
$C_p$	Peso do contrapeso	[N]
h	Altura	[m]
Ht	Percurso total	[m]
Hp	Distância entre pavimentos	[m]
L	Lotação máxima	
n	Número de elevadores	
$n_{max}$	Número máximo de passageiros	
N	Número de paradas prováveis	
$N_{ap}$	Número de apartamentos	
$N_g$	Número de garagens	
$N_{ss}$	Número de subsolos	
$\eta_g$	Eficiência do gerador	
$\eta_m$	Eficiência do motor	
p	Número de paradas do elevador	
P	Peso de uma pessoa	[N]
Pt	Percurso total	[m]
Pm	Percurso médio	[m]
T	Tempo total de viagem	[s]
T1	Tempo de percurso total	[s]
T2	Tempo de aceleração e retardo	[s]
T3	Tempo de abertura e fechamento de portas	[s]
T4	Tempo de entrada e saída de passageiros	[s]
Tm	Tempo médio de viagem	[s]
VPL	Valor presente líquido	[R\$]
$\Psi$	Fluxo de passageiros subindo	
$\phi$	Fluxo de passageiros descendo	

### Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
NBR	Norma Brasileira.
NM	Norma Mercosul.
MGU	Unidade Motora-Geradora.
CA	Corrente Alternada.
CC	Corrente Contínua.
VVVF	Voltagem e Frequência Variáveis.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

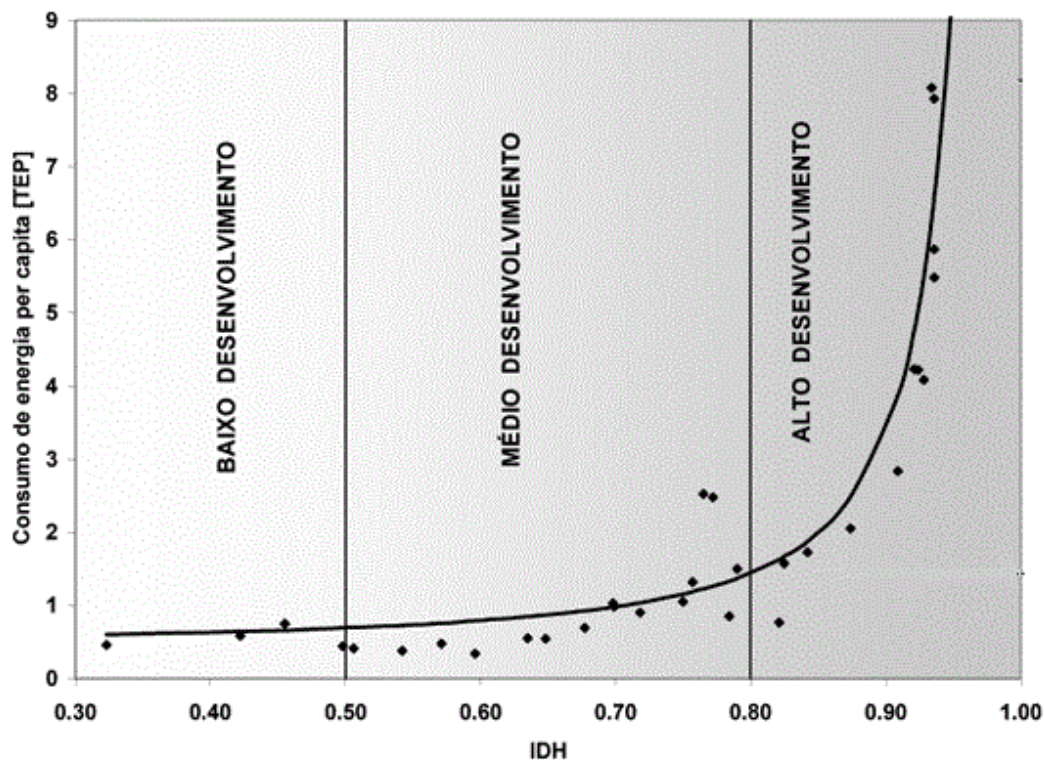
O grande desenvolvimento econômico experimentado pelo Brasil entre o final do século XX e início do século XXI trouxe consigo o crescimento da demanda energética. A abertura de novas indústrias aliado ao crescimento populacional fez com que a demanda de energia per capital saltasse de cerca de 0,7 toneladas equivalentes de petróleo, na década de setenta, para 1,9 toneladas equivalentes de petróleo, no ano de 2010, prevendo-se um aumento para 2,4 toneladas equivalente de petróleo para 2030 (TOLMASQUIM, GUERREIRO, GORINI, 2007).

Sabe-se que há uma estreita relação entre disponibilidade energética e desenvolvimento socioeconômico. O crescimento tecnológico, o crescimento industrial e a melhoria do padrão de vida de uma sociedade são acompanhados pela evolução do consumo de energia através do aumento de recursos energéticos (SIMABUKULO, CORREA, SANTOS, MARTINS, 2016).

A relação entre o consumo per capita e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) pode ser observada na figura 1.

Portanto, dispor de recursos naturais para serem utilizados como alicerce do aumento da capacidade de produção de energia elétrica é de suma importância, bem como a eficiência no uso de energia para evitar desperdícios. Segundo a ABESCO (2015), Cerca de 50 mil giga watts/hora por ano são desperdiçados, aproximadamente R\$ 12,6 bilhões de reais, pelo uso de aparelhos ineficientes, energia essa que representa o consumo dos Estados de Pernambuco e Rio de Janeiro durante um ano.

As edificações são responsáveis por cerca de 50% do consumo total de energia (BEN, 2015), sendo uma fonte potencial de redução do consumo de energia. O uso de equipamentos e máquinas com tecnologia de consumo de energia ineficiente é uma grande fonte de desperdício de energia, estando as instalações termomecânicas e as máquinas de elevação no topo da lista de maiores consumidores de energia e, por conseguinte, de maior potencial de redução de consumo.



**Figura 1: Consumo de energia per capita em TEP/ano versus IDH, adaptado (ANDRADE, LORA, DUPAS, 2002).**

Elevadores representam cerca de 6% do consumo de energia total de um condomínio, sendo que grande maioria dos condomínios possui maquinário antigo, com sistemas de transmissão de potência ineficientes, que acabam desperdiçando uma quantidade considerável de energia, cerca de 40% do que é consumido, o que lhe confere um potencial de redução do consumo de energia (SECIESP, 2008).

Tendo em vista o cenário energético nacional, os consumidores têm buscado fontes de economizar energia, uma vez que o preço da energia elétrica tem recebido constantes reajustes devido às variações das condições climáticas que têm alterado os ciclos chuvosos, diminuindo a quantidade de água nos reservatórios e, por conseguinte, a geração de energia. Sabendo-se que a geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas corresponde a cerca de 65,2% da matriz nacional (BEN, 2015) fica evidente a necessidade de otimização do consumo de energia como forma de abaixar a demanda e diminuir a dependência dos ciclos climáticos.

Observando-se esta necessidade, é clara a importância do desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência dos dispositivos elétricos, diminuindo o consumo através da minimização de perdas e reaproveitamento de parte da energia que inicialmente seria descartada. Sendo assim, deve-se atentar à problemática dos elevadores que desperdiçam

grande quantidade de energia devido ao uso de sistemas de alimentação ineficientes e ao grande descarte de energia em forma de calor, principalmente, no processo de frenagem.

Com o intuito de atender a esta demanda, empresas fabricantes de elevadores têm desenvolvido elevadores de alta eficiência, equipados com sistemas de controle melhorados, hardware e sistemas de potência mais compactos e de grande eficiência energética, capazes de também gerar energia no processo de frenagem. Novos sistemas de controle fornecem dados para melhorias no controle de tráfego, possibilitando o desenvolvimento de estratégias que visem diminuir a quantidade de viagens para atender uma determinada população. Além disso, drivers regenerativos têm sido adotados para reciclar a energia que seria perdida em forma de calor, adotando um fluxo bidirecional de energia no motor, fazendo com que o motor passe a funcionar como um gerador no processo de frenagem (SNIDERMAN, 2012).

## **1.2 MOTIVAÇÃO**

Segundo o Balanço Energético de 2015 (BEN, 2015) a geração de energia nacional é dividida da seguinte forma: 65,2% hidrelétrica, 3,2% carvão e derivados, 2,5% nuclear, 6,9% derivados do petróleo, 13% gás natural, 2% eólica e 7,3% biomassa. Devido a grande dependência dos ciclos chuvosos, a geração energia hidrelétrica tem períodos de baixa produtividade em épocas de estiagem, forçando a utilização de mais energia de fontes termelétricas, aumentando o preço da energia e a emissão de poluentes.

Além do aumento do preço da energia e da emissão de poluentes pelo uso de termoeletricas, a defasagem do parque energético nacional limita o crescimento do país, uma vez que a atividade industrial enfrenta barreiras de custo e disponibilidade de energia para o processo produtivo e sabe-se que a atualização do parque energético é um projeto de longo prazo.

Sendo assim, uma saída de curto prazo para a problemática energética nacional é a otimização do consumo de energia, desenvolvendo-se equipamentos mais eficientes, que possam reduzir o consumo residencial, deixando uma quantidade maior de energia disponível para atividade industrial a baixo custo, estimulando a atividade produtiva.

Para tanto, é necessário que o consumo residencial seja analisado, levantando-se pontos potenciais de redução do consumo, possibilitando o desenvolvimento de tecnologias que possam aumentar a eficiência dos dispositivos elétricos. Um grande exemplo disso é o elevador de passageiros, que tem um consumo de energia considerável e um grande potencial

de redução do mesmo, despertando a atenção dos engenheiros mecânicos para a proposição de soluções que o deixe mais eficiente e garanta uma redução do seu consumo de energia.

### **1.3 OBJETIVOS**

Esse trabalho aborda a problemática da redução do consumo de energia em elevadores de passageiros utilizados em edifícios residenciais do Distrito Federal, através do uso da frenagem regenerativa, tendo como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de análise da viabilidade da instalação de um dispositivo de frenagem regenerativa.

### **1.4 METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento desse trabalho foi realizado um estudo bibliográfico do problema abordado a fim de se determinar a melhor solução para o aumento da eficiência de elevadores de passageiros, foi feito um estudo preliminar para a determinação do máximo percentual de energia que pode ser regenerada em condições limites. Além disso, foi realizado um estudo de caso em dois edifícios residenciais localizados no Distrito Federal, um em Águas Claras e outro na Asa Norte, para se determinar a melhor alternativa de aproveitamento da energia recuperada e, por fim, foi feita uma análise econômica para se determinar a viabilidade da instalação do sistema de regeneração.

## **1.5 ESTRUTURA DO TEXTO**

Este trabalho está estruturado em 7 capítulos, nos quais serão tratados os seguintes temas:

### **Capítulo 1:** Introdução.

O presente capítulo traduz o objetivo do trabalho além de uma contextualização do problema a ser solucionado, acompanhada da motivação para o desenvolvimento deste tema.

### **Capítulo 2:** Elevadores.

Capítulo destinado ao levantamento das principais normas que abordam o projeto de elevadores de passageiros e uma revisão bibliográfica sobre os principais componentes de um elevador, tipos de acionamento, cálculo de tráfego e redução do consumo de energia em elevadores.

### **Capítulo 3:** Regeneração de Energia.

O capítulo três se destaca ao fazer uma revisão bibliográfica sobre a regeneração de energia, principais mecanismos de frenagem elétrica, frenagem regenerativa aplicada à automóveis, trens e elevadores.

### **Capítulo 4:** Estudo Preliminar.

O quarto capítulo visa o desenvolvimento de um estudo preliminar para estimativa da quantidade de energia que pode ser regenerada em um edifício padrão da Asa Sul de Brasília mediante algumas hipóteses levantadas para que se tenha uma aproximação da realidade.

### **Capítulo 5:** Estudo de Caso.

Neste capítulo são apresentados dois estudos de casos, um em Águas Claras, no Residencial Sevilha, e outro na Asa Norte, no Edifício Anísio Teixeira. Estes estudos de caso têm por finalidade estimar a quantidade potencial de energia regenerada mediante ao fluxo de passageiros.

### **Capítulo 6:** Análise Econômica.

No sexto capítulo é apresentada uma análise econômica para atestar a viabilidade da instalação do sistema de regeneração nos elevadores dos prédios analisados.

## **Capítulo 7:** Conclusão.

Neste capítulo são expostas as considerações finais em relação ao objetivo deste trabalho, são apresentados alguns trabalhos futuros que podem ser realizados para complementar o presente trabalho.



## 2 ELEVADORES

### 2.1 ASPECTOS GERAIS E NORMAS

Elevadores são máquinas de transporte designadas exclusivamente para movimentação vertical de cargas ou passageiros. Tendo capacidade de elevar até 1,5 tf, em caso de elevadores de passageiros, o elevador é o principal meio de transporte vertical em edificações de vários pavimentos, deslocando-se a velocidades que variam de 0,5 a 3,5 m/s em aplicações normais, sendo compostos, basicamente por: cabina ou carro, trilhos ou guias independentes, poço, contrapeso, dispositivo de suspensão, máquina elevadora ou de tração, dispositivos de segurança e controles elétricos (RUDENKO, 1976), conforme disposição dos elementos representada na figura 2.

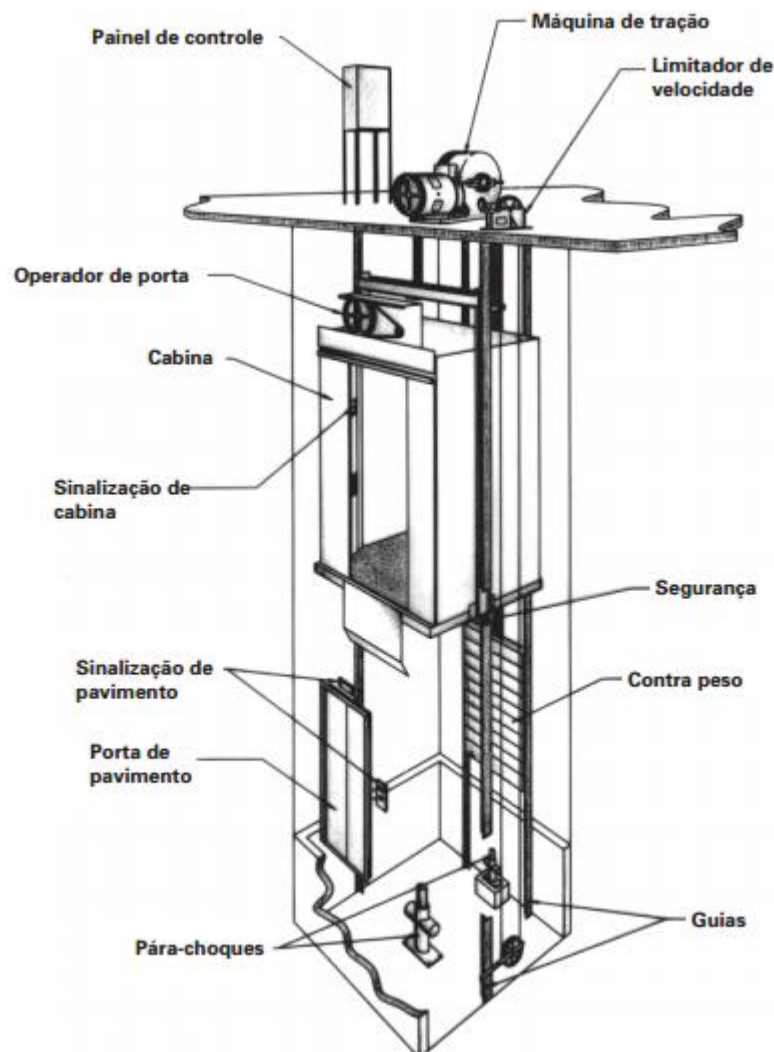


Figura 2: Posicionamento dos Componentes de um elevador (SCHINDLER, 2016).

As principais normas que regem o projeto e instalação de elevadores são as normas: NBR – NM 207 (1999), NBR 13994 (2000), NBR 5666 (1977), NBR 5665 (1983), NBR 10982 (1990), NBR 16042 (2012) e NM 196 (1999).

A norma NBR – NM 207 (1999) trata dos requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores elétricos de passageiros, essa norma trás detalhadamente a indicação de como deverá ser realizado o dimensionamento dos principais componentes de um elevador, bem como deverá ser feito o projeto civil da instalação que irá abrigar os componentes mecânicos do elevador.

A norma NBR 13994 (2000) trata do transporte de pessoas portadoras de deficiência em elevadores de passageiros. Essa norma fornece os parâmetros de projeto que devem ser levados em conta para a acessibilidade de pessoas portadoras de deficiência.

A norma NBR 5666 (1977) trata dos principais tipos de alimentação para elevadores elétricos, fornecendo as diretrizes do dimensionamento da instalação elétrica dos elevadores.

A norma NBR 5665 (1983) trata do cálculo de tráfego em elevadores de passageiros. Essa norma fornece, detalhadamente, as diretrizes para o cálculo de tráfego em elevadores, indicando as padronizações aplicadas para os parâmetros necessários para o cálculo.

A norma NBR 10982 (1990) trata dos principais dispositivos de operação e sinalização aplicados em elevadores elétricos de passageiros. Essa norma fornece a padronização dos dispositivos de operação e símbolos utilizados em elevadores de passageiros.

A norma NBR 16042 (2012) trata dos requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores de passageiros sem casas de máquinas. Essa norma fornece os principais requisitos de segurança e parâmetros de projeto pra a construção e instalação de elevadores sem casas de máquinas.

A norma NM 196 (1999) trata do dimensionamento das guias para elevadores de passageiros e monta cargas. Essa norma fornece os parâmetros para o dimensionamento das vigas metálicas que compõem as guias (trilhos) da cabina e do contra peso do elevador.

## **2.2 COMPONENTES EXTRUTURAIS**

Os principais componentes estruturais de elevadores de passageiros são: Cabina, guias, poço, contrapeso e dispositivo de suspensão.

### **2.2.1 CABINA**

A cabina é uma caixa de aço, onde os passageiros ficam acomodados, montada sobre duas longarinas de aço fixada em cabeçotes sobre rodas (superior e inferior), formando o carro que desliza pelos trilhos guias (SCHINDLER). As cabinas devem ter uma altura interna livre mínima de 2,10 m, tendo uma área interna disponível limitada para evitar sobrecarga, devendo ser selecionada conforme a quantidade de passageiros. Além disso, a cabina deve ser totalmente fechada por paredes, piso e teto não perfurantes, possuindo aberturas somente para entrada e saída de passageiros, alçapões de emergência e aberturas de ventilação. As portas da cabina devem ser não perfurantes e apresentarem acionamento automático, devendo fechar completamente a entrada da cabina com uma folga admissível de 6 mm (NBR – NM 207, 1999).

A tabela 1 fornece a área máxima da cabina em função da capacidade de carga da mesma segundo a norma NBR – NM 207 (1999).

As cabinas mais modernas possuem uma vasta quantidade de personalizações e apresentam modificações construtivas para promover acessibilidade ao usuário portador de deficiência física. As portas possuem largura mínima de 1,1 m, a cabina possui corrimão lateral e frontal posicionados a uma altura de 90 cm do piso, o painel de comando é posicionado a uma altura de 1,2 m do piso, a botoeira possui demarcação em braile e algumas cabines possuem aviso sonoro (NBR 13994, 2000).

A figura 3 fornece as dimensões da cabina, bem como a disposição de seus componentes para fornecer acessibilidade para o passageiro portador de deficiência, conforme a norma NBR 13994 (2000).

Tabela 1: Determinação da área máxima da cabina (NBR – NM 207, 1999).

Carga nominal, (masa)/ <i>Carga nominal, (massa)</i>	Superfície útil máx. de cabina/ <i>Área máxima da cabina</i>	Carga nominal, (masa)/ <i>Carga nominal, (massa)</i>	Superfície útil máx. de cabina/ <i>Área máxima da cabina</i>
kg	m <sup>2</sup>	kg	m <sup>2</sup>
300	0,90	1000	2,40
375	1,10	1050	2,50
400	1,17	1125	2,65
450	1,30	1200	2,80
525	1,45	1250	2,90
600	1,60	1275	2,95
630	1,66	1350	3,10
675	1,75	1425	3,25
750	1,90	1500	3,40
800	2,00	1600	3,56
825	2,05	2000	4,20
900	2,20	2500 <sup>a)</sup>	5,00
975	2,35		

a) Por encima de 2 500 kg, añadir 0,16 m<sup>2</sup> por cada 100 kg más./  
*Acima de 2500 kg acrescente 0,16 m<sup>2</sup> para cada 100 kg adicionais.*  
 Para cargas intermedias se determina la superficie por interpolación lineal/  
*Para cargas intermediárias a área é determinada por interpolação linear.*

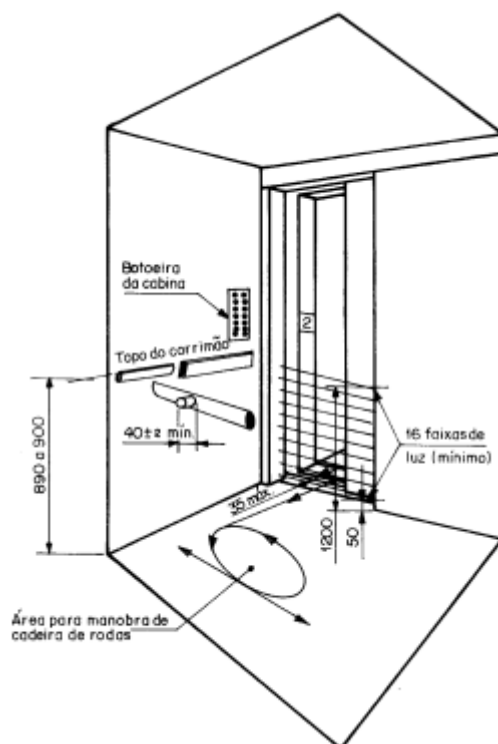


Figura 3: Composição da cabina de elevadores modernos (NBR 13994, 2000).

### **2.2.2 GUIAS**

Os trilhos ou guias são componentes rígidos destinados a manter a direção do movimento do carro e do contrapeso. Esses componentes devem possuir resistência suficiente para suportar as forças geradas devido à frenagem de segurança e a deflexão causada pela descentralização da carga, devendo essa ser limitada para não danificar o carro. A fixação desses componentes deve permitir compensar, automaticamente ou por simples ajuste, os efeitos normais de assentamento da estrutura do edifício e a contração do concreto. A seleção desses componentes, independente da velocidade nominal, deve atender à norma NM 196 de 1999 (NBR – NM 207, 1999).

### **2.2.3 POÇO**

O poço é a parte inferior da Caixa, local onde se movimenta o carro e o contrapeso, situado abaixo do piso da cabina na posição de parada extrema inferior. O poço deve ser impermeável, fechado e aterrado, nele não pode haver obstáculos para a instalação dos aparelhos do elevador, tais como sapatas e amortecedores, não podendo ser instalado qualquer tipo de equipamento que não faça parte do elevador. Além disso, a estrutura do poço deve prever acesso de técnicos para manutenção e dispor de iluminação mínima de 20 lx no piso do poço, além de uma tomada elétrica. As dimensões mínimas do poço variam conforme as condições de operação do elevador, devendo estas atender à norma NBR – NM 207 de 1999 (SCHINDLER).

A figura 4 representa as dimensões da Caixa e a tabela 2 fornece os valores das cotas da figura 4 de acordo com a velocidade nominal do elevador, conforme a norma NBR – NM 207 (1999).

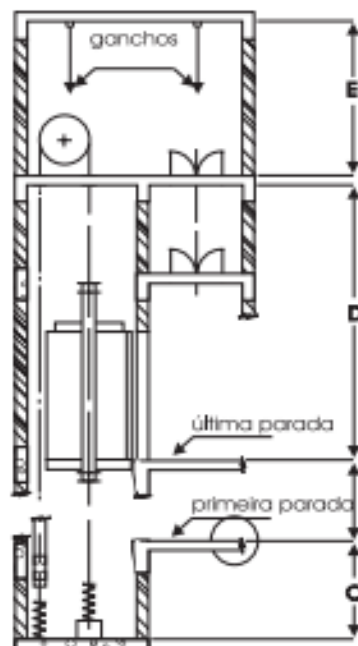


Figura 4: Dimensões da Caixa (SCHINDLER, 2016).

Tabela 2: Dimensões da Caixa conforme condições de operação (SCHINDLER, 2016).

Dimensões Mínimas				
Vel. (m/s)	Capac.	C(m)	D(m)	E(m)
0,75	6 a 10	1,50	4,15	2,35
1,00	6 a 10	1,60	4,20	2,35
1,25	6 a 10	1,65	4,25	2,35
1,50	6 a 10	1,65	4,25	2,80
1,75	10 a 17	1,70	4,50	2,80
2,00	10 a 17	1,70	4,50	2,80
2,50	12 a 17	1,85	4,50	2,80
3,00	12 a 20	4,00	5,80	3,00
3,50	13 a 24	4,00	6,00	3,50
4,00	13 a 24	4,00	6,00	3,50
5,00	14 a 24	5,50	6,80	6,00*
C = Profundidade do Poço (Espaço Livre Inferior)				
D = Espaço Livre Superior				
E = Pé-direito da Casa de Máquinas				

## 2.2.4 CONTRAPESO

O contrapeso é uma estrutura metálica formada por duas longarinas e dois cabeçotes, nele é adicionado um peso equivalente ao peso do carro acrescido de 40 a 50% da capacidade licenciada, tendo a função de suavizar a movimentação do elevador e tornar a operação mais segura (SCHINDLER, 2016). Esse dispositivo realiza movimento contrário ao movimento do elevador sendo, de certa forma, um acumulador de energia potencial.

## **2.2.5 DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO**

Tanto o carro quanto o contrapeso são suspensos por cabos de aço que se movem através de polias de tração e desvio instaladas na casa de máquinas ou na parte superior da caixa, compondo o dispositivo de suspensão. A quantidade mínima de cabos de aço é de 3 cabos, devendo eles conferir resistência suficiente para atender a solicitação segundo um fator de segurança determinado pela norma NBR – NM 207 (1999). As polias devem ser dimensionadas para suportar o esforço gerado pela tração dos cabos. Além disso, as polias motrizes e de desvio devem ser providas de dispositivos que evitem danos ao corpo humano, a saída do cabo de suas ranhuras em situação de frouxidão e a introdução de objetos entre os cabos e as ranhuras (NBR – NM 207, 1999).

## **2.3 SISTEMA DE ACIONAMENTO E CONTROLE**

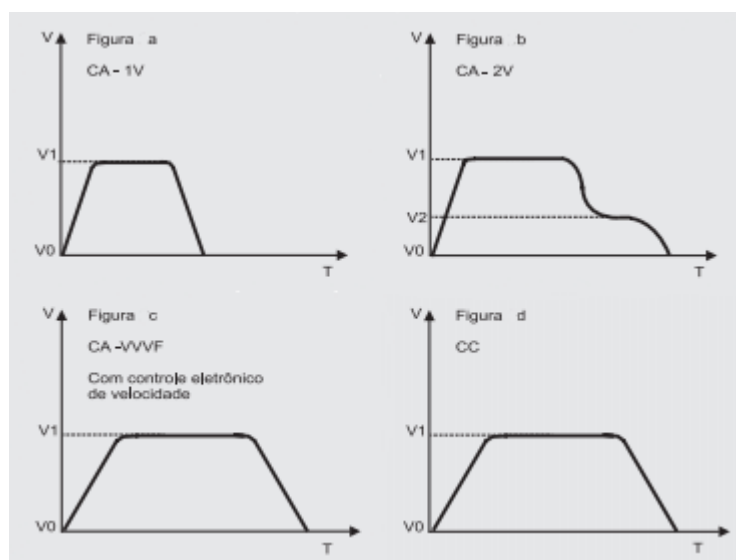
Segundo a norma NBR 5666 (1977) há dois tipos de alimentação elétrica para motores de elevadores: alimentação por tensão constante e alimentação por tensão variável. A alimentação por tensão constante é o sistema no qual o motor da máquina é alimentado diretamente por uma fonte de corrente alternada e a alimentação por tensão variável é o sistema no qual o motor da máquina é alimentado diretamente por uma fonte de corrente contínua.

O acionamento do elevador pode ser feito de quatro maneiras, a depender do tipo de alimentação que o sistema está submetido. No uso de alimentação por tensão constante, o acionamento do elevador pode ser feito por três tipos de circuito: CA – 1V (corrente alternada – uma velocidade), CA – 2V (corrente alternada – duas velocidades) e CA – VVVF (corrente alternada – voltagem e frequência variada). Já para o uso de alimentação por tensão variável, o acionamento é feito por um conversor estático que fornece corrente contínua (CC) para o motor (SCHINDLER, 2016).

No acionamento CA – 1V, figura 5a, o elevador parte da velocidade inicial (V0) diretamente para a velocidade nominal (V1), invertendo o processo para a desaceleração. Sendo assim, esse tipo de acionamento não se enquadra nos parâmetros de conforto e consumo de energia do mercado, estando em desuso. Esse sistema foi utilizado no passado para acionamento de elevadores de passageiros, estando sua aplicação, hoje, muito restrita a equipamentos de transporte vertical do tipo monta-carga (SCHINDLER, 2016).

Já no acionamento CA – 2V, figura 5b, o elevador também parte da velocidade inicial (V0) diretamente para velocidade nominal (V1) na aceleração. No entanto, na desaceleração o elevador passa por uma velocidade intermediária (V2) correspondente à  $\frac{1}{4}$  da velocidade nominal do elevador, suavizando a frenagem. Por apresentar parâmetros de conforto e números de partida por hora que restringem o tráfego de passageiros, esse tipo de acionamento é utilizado apenas em prédios de pequeno e médio tráfego (SCHINDLER, 2016).

O acionamento do tipo CA – VVVF, figura 5c, é o tipo de acionamento mais moderno e eficiente. A substituição dos painéis de comando à relé por microprocessadores integrados a inversores de frequência permite um maior controle da velocidade conforme o padrão desejado, o que suaviza as paradas e acelerações, uma vez que parte-se da velocidade inicial (V0) para velocidade nominal (V1) de uma maneira mais progressiva na aceleração e vice-versa para a desaceleração. Sendo assim, são evitados picos de amperagem nos motores durante o acionamento, diminuindo em até 40% o consumo de energia desses elevadores comparando-se ao acionamento de uma velocidade (SCHINDLER, 2016).



**Figura 5: Velocidade VS Tempo para cada tipo de acionamento (SCHINDLER, 2016).**

O acionamento para corrente contínua (CC), figura 5d, se assemelha muito ao acionamento do tipo CA – VVVF, a única diferença é que esse tipo de acionamento utiliza um conversor estático para alimentar o motor em corrente contínua. Ambos os acionamentos são adequados para prédios de pequeno, médio e grande tráfego de passageiro, sendo os sistemas mais



empregados nos elevadores modernos e utilizados no processo de modernização de elevadores (SCHINDLER, 2016).

À medida que se passa de um acionamento para outro através da figura 5, sentido 5a – 5d, algumas vantagens são obtidas em dose crescente, tais como: aumento da vida útil de vários componentes afetados pela aceleração e frenagem (cabos de tração, engrenagens, polias, sapatas de freio), nivelamento mais preciso da cabina com o piso do andar independentemente da carga, menor sobrecarga térmica do motor e menor consumo de energia (SCHINDLER, 2016).

### **2.3.1 MÁQUINA DE TRAÇÃO**

A máquina de tração é composta por um motor elétrico, podendo ser de corrente contínua (CC) ou de corrente alternada (CA), um redutor, para fazer a redução da velocidade de saída do motor e ampliar o torque, uma polia de acionamento, que fará a movimentação dos cabos do elevador, e um freio (SCHINDLER, 2010). Esses mecanismos podem ficar alojados na casa de máquinas ou junto ao carro, em elevadores que não possuem casa de máquinas.

A figura 6 representa uma máquina de tração utilizada em elevadores de passageiros para movimentação da cabina.



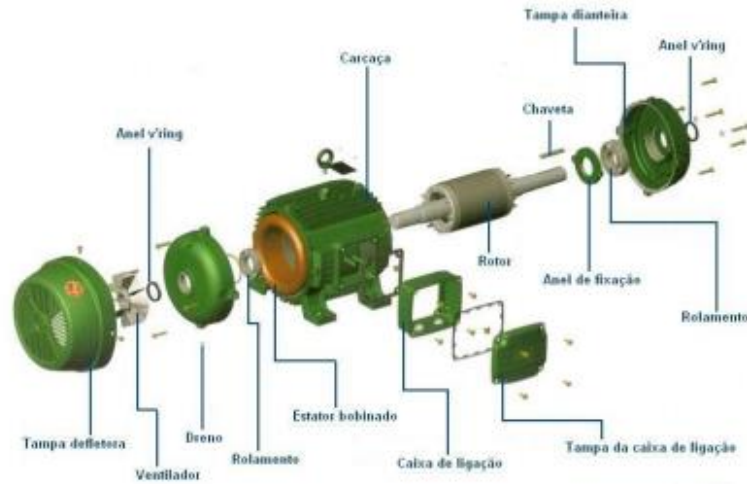
**Figura 6: Máquina de tração (SECTRON, 2016).**

### **2.3.2 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA (CA)**

Os motores de corrente alternada são classificados em dois tipos principais: motor de indução e motor síncrono. Os motores de indução, ou assíncronos, são largamente utilizados devido à sua alta durabilidade, uma vez que a corrente induzida nos polos do estator cria um torque responsável por girar o rotor, não sendo necessária a energização do mesmo. Já os motores

síncronos têm rotores que necessitam de contatos energizados para o seu funcionamento, o que reduz a sua vida útil (PINHEIRO, 2007).

A figura 7 representa a vista explodida de um motor de corrente alternada, evidenciando todos os elementos que compõe esse tipo de motor.



**Figura 7: Vista explodida de um motor CA (JULIFER).**

### **2.3.3 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA (CC)**

Esse tipo de motor oferece uma ampla faixa de variação de energia sem prejuízo para máquina. A corrente contínua passa pelos polos do motor que por sua vez criam um campo eletromagnético que atrai e repele a armadura (rotor), fazendo com que a armadura gire. Esse tipo de motor ainda é bastante utilizado em máquinas de elevação, mesmo a distribuição da rede sendo em CA, uma vez que esse tipo de motor oferece uma ampla faixa de variação de velocidade, baixa relação peso/potência, alta eficiência, alta capacidade de cargas dinâmicas e baixo nível de ruído (PINHEIRO, 2007).

A figura 8 representa um motor de corrente contínua com uma vista em corte, ilustrando os elementos internos desse tipo de motor.



**Figura 8: Motor de corrente contínua (WEG).**

### **2.3.4 FREIO**

O freio geralmente é instalado entre o motor e o redutor, é formado por um conjunto de sapatas com lonas que, quando acionadas, atiram com o tambor ligado ao eixo de potência da máquina de tração, fazendo a frenagem do sistema. Esse freio fica normalmente fechado, travando a movimentação do elevador sendo liberado eletromagneticamente apenas no momento em que o motor elétrico entra em operação (LEONESSA, 2016). A disposição dos elementos de frenagem em uma máquina motora é ilustrada pela figura 9.



**Figura 9: Posicionamento do sistema de frenagem (LEONESSA, 2016).**

Algumas máquinas de tração mais modernas apresentam um mecanismo de freio mais sofisticado chamado freio de Foucault. Esse mecanismo de freio é composto por um rotor, acoplado ao eixo da máquina de tração, um estator, formado por um conjunto de bobinas, uma série de capacitores, para armazenar energia, e uma série de resistores, para dissipar a sobra de energia em forma de calor (WOHLGEMUTH, ROSA, 2012).

Quando o rotor entra em movimento, ocorre a formação de um campo eletromagnético entre o rotor e o estator que, por sua vez, gera um torque no sentido contrário ao movimento, freando o elevador. Esse campo eletromagnético induz uma diferença de potencial entre o rotor e o estator, que orienta uma corrente de energia, conhecida como Corrente de Foucault, sendo essa energia armazenada nos capacitores para auxiliar na partida do motor e o excedente é dissipado pelos resistores (WOHLGEMUTH, ROSA, 2012).

A figura 10 ilustra um dispositivo de freio de Foucault, geralmente utilizado em elevadores.



**Figura 10: Freio de Foucault (VORAX, 2016).**

### **2.3.5 DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA**

Para garantir o funcionamento seguro, evitar danos materiais e ao usuário, elevadores contam com uma série de dispositivos de segurança, tais como: freios de segurança, limitadores de velocidade, para-choques e proteção contra falhas elétricas.

O freio de segurança é montado na estrutura do carro e deverá operar somente no sentido de descida de maneira instantânea, para velocidades nominais inferiores à 1 m/s, ou de maneira progressiva, para velocidades nominais superiores à 1 m/s, sendo capaz de parar o carro com a sua carga nominal, mesmo que ocorra a ruptura do sistema de suspensão, por meio de força de compressão nas guias, mantendo o carro preso à elas após sua parada total. É proibido o acionamento desse sistema por dispositivos elétricos, hidráulicos ou pneumáticos e necessária a parada imediata do motor (NBR – NM 207, 1999).

O limitador de velocidade é um dispositivo que monitora constantemente a velocidade de operação do elevador, quando ele identifica que a velocidade do elevador está superior à 115% da velocidade nominal, ele é acionado automaticamente freando o elevador. Caso esse primeiro comando elétrico não seja suficiente para frear completamente o elevador, é emitido um segundo sinal elétrico para a parada imediata do motor e acionamento mecânico do sistema de freios de segurança (NBR – NM 207, 1999).

Os para-choques são dispositivos elástico que devem ser instalados na extremidade inferior do carro e do contrapeso, utilizado para amortecer eventuais impactos de operação, devem ser selecionados conforme o seu tipo de funcionamento, sendo de acumulação de energia ou dissipação de energia. (NBR – NM 207, 1999).

O sistema de proteção contra falha elétrica consiste em uma série de dispositivos elétricos de segurança que devem operar em caso de falha elétrica, acionando o sistema de frenagem de segurança do elevador e evitando o seu funcionamento em situações que possam oferecer risco aos usuários (NBR – NM 207, 1999).

### **2.3.6 CONTROLES ELÉTRICOS**

Um dos principais dispositivos de controle de um elevador é o painel de controle, instalado no ultimo andar, ele comanda todos os dispositivos eletrônicos do elevador, sendo responsável desde o processamento do sinal emitido pelo passageiro ao chamar o elevador, até a vetorização de potência nos motores elétricos, que podem ser de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), sendo uma das peças fundamentais para o funcionamento correto do elevador, tendo também a capacidade de tornar a operação do elevador mais eficiente, devendo, também, comandar o sistema de frenagem de segurança em casos de emergência (SCHINDLER).

## **2.4 CÁLCULO DE TRÁFEGO NOS ELEVADORES**

O cálculo de tráfego nos elevadores é o procedimento que permite verificar se a quantidade de elevadores, bem como se a capacidade de carga dos elevadores é suficiente para atenderem o fluxo de pessoas no prédio. Esse cálculo é regulamentado pela norma ABNT NBR 5665 (1983) que regulamenta os parâmetros necessários para o desenvolvimento desse cálculo.

Segundo essa norma, é necessária a definição dos seguintes parâmetros: população do prédio, número de paradas dos elevadores, percurso total dos elevadores, tipos de portas dos elevadores, capacidade das cabinas, velocidade dos elevadores e quantidade de elevadores.

A norma ABNT NBR 5665 (1983) especifica relações para o cálculo da população e a porcentagem mínima da população que deve ser transportada em um intervalo de 5 minutos dos seguintes tipos de edificações: escritórios, apartamentos, hotéis, restaurantes, hospitais, escolas, edifícios-garagem com rampas (sem motorista) e lojas e centros comerciais. Conforme pode ser observado na tabela 3.

**Tabela 3: População e Capacidade de Tráfego em 5 minutos (NBR 5665, 1983)**

<b>População e Capacidade de Tráfego para cada tipo de edificação (NBR 5665, 1983)</b>		
<b>Aplicação do Edifício</b>	<b>População do Edifício</b>	<b>Capacidade de Tráfego em 5 minutos</b>
Escritórios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escritórios de uma única entidade: 1 pessoa por cada 7 m<sup>2</sup>;</li> <li>• Escritórios em geral e consultórios: 1 pessoa a cada 7 m<sup>2</sup>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escritórios de uma única entidade: 15%;</li> <li>• Escritórios em geral e consultórios: 12%;</li> </ul>
Apartamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 pessoas por dormitório;</li> <li>• 4 pessoas por 2 dormitórios;</li> <li>• 5 pessoas por 3 dormitórios;</li> <li>• 6 pessoas por 4 dormitórios;</li> <li>• 1 pessoa por dormitório de serviço;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10%;</li> </ul>

A norma ABNT NBR 5665 (1983) regulamenta o cálculo do número de paradas prováveis do elevador, a partir da equação abaixo:

$$N = p - (p - 1) \cdot \left(\frac{p-2}{p-1}\right)^L \quad (1)$$

Em que N é o número provável de paradas, p é o número de paradas do elevador e L é a lotação máxima da cabina.

Em seguida, é determinado o tempo total de viagem através da seguinte equação:

$$T = T_1 + T_2 + 1,1 \cdot (T_3 + T_4) \quad (2)$$

Em que T é o tempo total de viagem, T<sub>1</sub> é o tempo de percurso total (obtido através da divisão da velocidade nominal pelo percurso total, ida e volta), T<sub>2</sub> é o tempo de aceleração e

retardamento (metade da multiplicação do número de paradas prováveis pelo tempo de aceleração e retardo, regulamentado pela norma), T3 é o tempo de abertura e fechamento da porta (resultado da multiplicação do número de paradas prováveis pelo tempo de abertura e fechamento da porta, regulamentado pela norma) e T4 é o tempo de entrada e saída de passageiros (resultado da multiplicação da lotação máxima pelo tempo de entrada e saída de passageiros, regulamentado pela norma).

A partir da determinação do tempo total de viagem, T, é feita a determinação da capacidade de transporte em um período de 5 minutos pela equação 3:

$$C_t = \frac{C \cdot 300}{T} \quad (3)$$

Em que  $C_t$  é a capacidade de transporte de um elevador no período de 5 minutos, L é a lotação máxima da cabine e T é o tempo total de viagem. Em seguida é calculada a capacidade de tráfego, através da soma das quantidades de transporte de cada elevador.

## **2.5 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA**

Na tentativa de atender à necessidade de redução do consumo de energia, diversas empresas fabricantes de elevadores adotaram uma série de soluções para aumentar a eficiência dos elevadores. Dentre elas está a utilização de novas tecnologias de comando que organizam o fluxo de passageiros, diminuindo a quantidade de viagens necessárias para atender um mesmo fluxo. A empresa ThyssenKrupp desenvolveu o ADC – Antecipação de Chamada e Destino, que tem por finalidade a ampliação da capacidade de tráfego de um conjunto de elevadores com a organização e separação fluxo de passageiros em um conjunto de elevadores. O sistema permite que o passageiro informe o seu destino final, o que permite que seja feito o agrupamento de passageiros que vão para um mesmo destino em, apenas, um elevador, evitando que o elevador faça mais viagens do que o necessário permitindo uma diminuição de até 30% do consumo de energia (THYSSENKRUPP, 2009).

Outra solução proposta pelas empresas fabricantes é a utilização de maquinário sem o redutor de engrenagens, Gearless, que permite uma operação mais silenciosa, elimina a perda de potencia nas engrenagens, elimina a necessidade de óleo lubrificante e reduz o tamanho da máquina de tração. Sendo assim, a máquina de tração com tecnologia Gearless pode ser instalada na estrutura do carro, eliminando a necessidade de uma casa de máquinas (THYSSENKRUPP, 2009).

Algumas empresas desenvolveram um sistema que é capaz de reaproveitar parte da energia consumida pelo elevador. Essa tecnologia, chamada frenagem regenerativa, usa drivers regenerativos para criar um fluxo de energia bidirecional no motor do elevador, fazendo com que ele consuma energia quando estiver acelerando e gere energia quando estiver freando, o que fez com que essa tecnologia se tornasse a principal ferramenta de redução de consumo de energia em elevadores.



## **3 REGENERAÇÃO DE ENERGIA**

### **3.1 REGENERAÇÃO DE ENERGIA**

Diante da necessidade do controle e diminuição consumo, as engenharias têm concentrado esforços para garantir a diminuição do consumo dos equipamentos, aumentando a sua eficiência e diminuindo o custo energético destes. Sendo assim, pesquisas e desenvolvimento na área da regeneração de energia vêm tomando espaço, uma vez que, dada a dificuldade de se diminuir a quantidade de energia necessária para operar determinado equipamento, os engenheiros têm se voltado para o aproveitamento da energia desperdiçada por estes.

O processo de frenagem é um processo de transformação de energia cinética em outro tipo de energia. Nos freios convencionais, à disco e à tambor, a energia cinética é transformada em calor através do atrito da pastilha de freio com o disco, no freio à disco, e da sapata de freio com o tambor, no freio à tambor, esse calor é trocado com o meio, o que faz com que a energia cinética seja desperdiçada.

Segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE, 2010, apud DUGONSKI, ZOSCHKE, 2011) um sistema de regeneração de energia cinética é um dispositivo que recolhe parte da energia cinética no processo de desaceleração e em seguida reutiliza essa energia em outro processo. Sendo assim, parte da energia que inicialmente seria desperdiçada para o meio através da troca de calor nos freios convencionais passa a ser reaproveitada, diminuindo o consumo de energia do sistema. Essa tecnologia passou a ser implantada em diversos segmentos da indústria de transportes e visa aproveitar ao máximo a energia consumida, reciclando a energia que inicialmente seria desperdiçada no processo de frenagem e utilizando-a para alimentar algum outro componente elétrico do sistema.

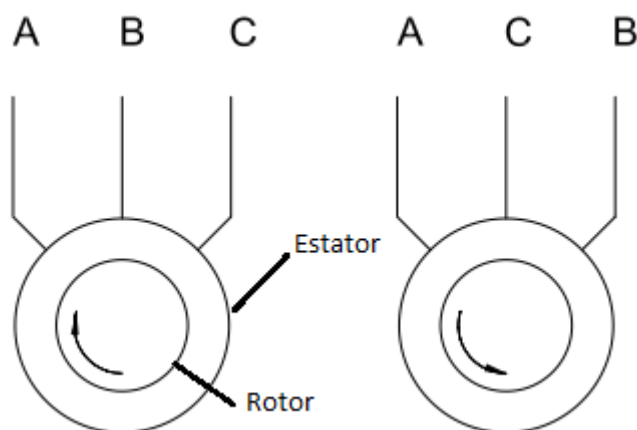
### **3.2 MÉTODOS DE FRENAGEM ELÉTRICA**

Alguns equipamentos passaram a adotar a frenagem elétrica para auxiliar a frenagem mecânica. Isso se deve à evolução dos sistemas de frenagem elétrica, que passaram a apresentar baixíssima necessidade de manutenção, alta eficiência, alta precisão no processo de parada do motor e possibilitarem a regeneração de energia. Basicamente existem três métodos

de frenagem elétrica com o uso de motores de indução: frenagem contracorrente, frenagem CC, frenagem regenerativa / dinâmica.

### 3.2.1 FRENAGEM CONTRACORRENTE

A frenagem por contracorrente consiste em inverter a sequência de fases de um motor de indução trifásico. Uma vez que o sentido de rotação do rotor do motor depende da direção do campo magnético gerado pelos enrolamentos do motor e esta direção é obtida de acordo com a sequência de fases nos terminais dos enrolamentos, ao se inverter a sequência de fases se tem uma inversão da direção do campo magnético, criando-se um torque contrário ao movimento que induz uma diminuição de velocidade do rotor, uma vez que esse tende a acompanhar a direção do torque gerado pelo campo magnético, conforme a figura 11.



**Figura 11: Efeito da inversão de fases na Frenagem Contracorrente (OLIVEIRA, 2013).**

Como se pode observar, ao se inverter as fases B e C o sentido de rotação do rotor é invertido. Sendo assim, o torque aplicado ao rotor passa a ser no sentido contrário, freando o rotor e, conseqüentemente, o eixo ao qual ele está acoplado. Esse tipo de frenagem não regenera a energia do movimento, pois apenas inverte o sentido de rotação do motor e não o funcionamento do mesmo (OLIVEIRA, 2013).

### **3.2.2 FRENAGEM CC**

Esse tipo de frenagem é feito com a injeção de corrente contínua nos enrolamentos de fases do motor, criando um campo magnético estacionário no primário (estator). Quando o campo magnético é atravessado pelo secundário (rotor) uma corrente é induzida, aumentando as perdas no secundário, o que diminui a energia cinética armazenada e a velocidade do motor, freando o eixo acoplado ao motor (OLIVEIRA, 2013).

### **3.2.3 FRENAGEM REGENERATIVA / DINÂMICA**

A frenagem regenerativa consiste em recuperar a energia dissipada no processo de frenagem de um veículo, sendo essa energia devolvida para a rede, armazenada em bancos de baterias, volantes de inércia ou em ultra capacitores. Essa tecnologia é uma evolução do processo de frenagem dinâmica, diferenciando-se, apenas, pelo reaproveitamento da energia gerada pela frenagem, uma vez que na frenagem dinâmica a energia gerada é dissipada em um banco de resistores. A frenagem regenerativa é tão mais efetiva quanto maior for a energia cinética do veículo que estiver sendo freado, garantindo o retorno de parte dessa energia para o sistema.

Na frenagem regenerativa com devolução de energia para a rede, parte da energia da frenagem é transformada em energia elétrica pela inversão do funcionamento do motor. Quando o motor é utilizado para frear o veículo, a energia cinética do movimento do veículo passa a ser responsável por girar o secundário do motor (rotor), que passa a ter uma velocidade maior do que a velocidade síncrona, essa diferença de velocidade faz com que uma corrente seja induzida no primário (estator), fazendo com que o motor opere como um gerador. A corrente induzida passa por um transformador que por sua vez irá despejar a potência elétrica regenerada na rede elétrica (OLIVEIRA, 2013).

A frenagem regenerativa com armazenamento em bancos de baterias funciona de maneira similar à frenagem com devolução para rede. No entanto, a energia gerada é transmitida para um conjunto de baterias que faz o armazenamento em energia química para utilização posterior (BAÚ, 2011).

A frenagem regenerativa com volante de inércia funciona com o armazenamento de energia da frenagem em volantes de inércia que são acelerados no processo de frenagem, guardando a energia da frenagem em forma de rotação. O acionamento dos volantes de inércia é feito por

uma máquina que atua como motor e gerador, dependendo do sentido do fluxo de potência. Atua como motor quando esta aumenta a energia armazenada no volante de inércia (aumentando as rotações do volante) e como gerador quando esta alimenta a carga com a energia do volante, diminuindo as rotações do volante (BAÚ, 2011).

A frenagem regenerativa com ultra capacitores é uma tecnologia recente que permite o armazenamento de energia em capacitores de alta capacitância. Os capacitores de alta capacitância são capazes de armazenar picos de energia de maneira mais eficiente do que as baterias, uma vez que nestes não há reações químicas envolvidas, o que lhes permite uma densidade de potência maior do que nas baterias. No entanto, capacitores têm uma densidade de energia menor do que as baterias, tendo uma capacidade de carga significativamente menor, o que restringe a sua aplicação, uma vez que a energia gerada teria que ser instantaneamente consumida (BAÚ, 2011).

### **3.3 FRENAGEM REGENERATIVA EM AUTOMÓVEIS**

A indústria automotiva vem utilizando e aprimorando, gradualmente, a regeneração de energia. A fórmula 1 apresentou no ano de 2009 o sistema conhecido como KERS (Kinect Energy Recovery System), sistema de recuperação de energia cinética, que consiste em aproveitar a energia cinética do carro quando ele está em processo de desaceleração, recuperando um pouco da energia dissipada no processo de frenagem através de alternador/motor ligado ao eixo das rodas e armazenando a energia em baterias para utilização em momentos de aceleração, reduzindo o consumo (ROCHA, 2009).

Existem vários tipos de KERS compostos por diferentes aparatos eletromecânicos, porém com o mesmo princípio de funcionamento, captando a energia cinética da frenagem e armazenando-a em outro tipo de energia. Na fórmula 1 utiliza-se basicamente dois tipos de KERS: o KERS eletrônico e o KERS eletromecânico.

O KERS eletrônico gera energia através da captura de uma proporção da força rotacional no processo de frenagem por um motor/gerador elétrico (MGU) montado em uma extremidade do eixo virabrequim do motor, convertendo energia cinética em energia elétrica que será armazenada em um conjunto de baterias. Quando o piloto aciona o botão do impulso, a energia elétrica armazenada nas baterias faz o motor (MGU) funcionar, adicionando uma potência de 80 hp extras para o motor (AUTORACING, 2010).

As figuras 12 e 13 representam, respectivamente, o esquema de funcionamento do KERS eletrônico desenvolvido pela empresa italiana MAGNETI MARELLI e o dispositivo utilizado na formula 1, esse dispositivo equipou os carros das escuderias Red Bull, Toro Rosso, Ferrari, Renault e Toyota. Ele pesa em torno de 5.5 kg e é capaz de gerar uma potência de 60 kW, aproximadamente 80 hp (AUTORACING, 2010).

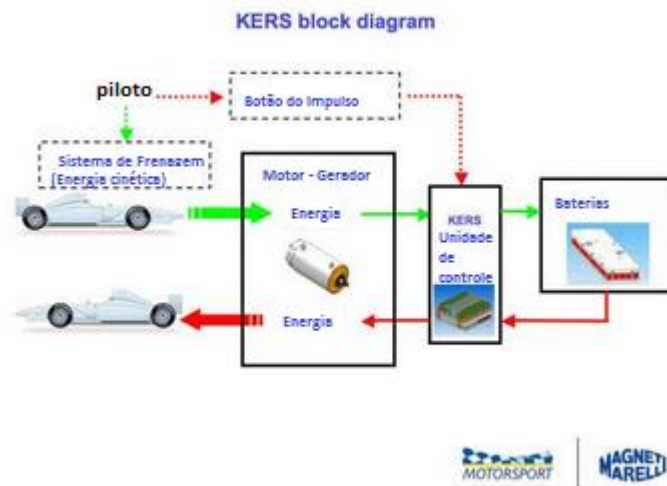


Figura 12: Esquema de funcionamento do KERS eletrônico, adaptado (AUTORACING, 2010).



Figura 13: Unidade motor/gerador utilizado na Fórmula 1 (AUTORACING,2010).

Outro tipo de solução, o KERS eletromecânico, utilizado pela Williams, consiste em um grande volante de fibra de carbono que é montado sobre rolamentos de cerâmica e eixo de

aço, mantido em uma capsula de vácuo capaz de atingir até 100 mil rpm no processo de frenagem. Esse volante é ligado por dois semieixos à um gerador que produz corrente elétrica e alimenta um conjunto de baterias, que por sua vez alimentam os dois motores elétricos do carro (AUTORACING, 2010).

A figura 14 representa a vista em corte do dispositivo de KERS eletromecânico utilizado pela Williams.



**Figura 14: KERS eletromecânico utilizado pela equipe Williams (AUTORACING, 2010).**

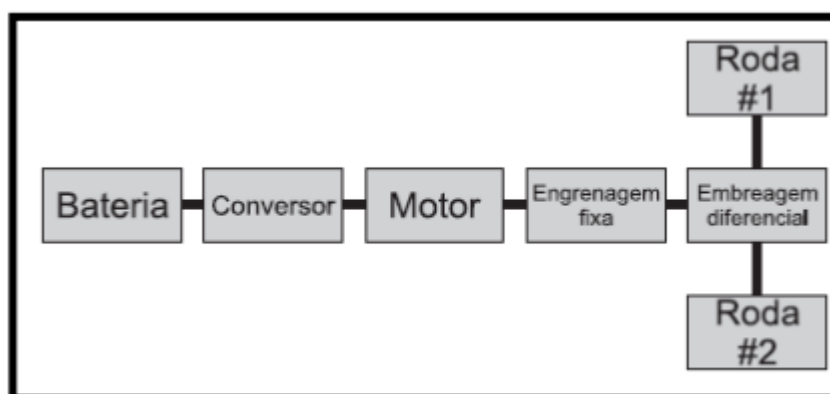
A frenagem regenerativa também passou a ser utilizada em veículos elétricos e híbridos para aumentar a autonomia e diminuir o consumo de combustível. Segundo o estudo publicado no *International Journal of Vehicle Design* por Boretti (2012, apud ABRAMS, 2012), esse tipo de tecnologia é capaz de reduzir o consumo em 25 a 33% em um sedan comum e em até 20% em veículos a diesel.

A frenagem regenerativa em automóveis é usada em carros que fazem uso de motores elétricos, nesse tipo de tecnologia o fluxo de energia é bidirecional, quando o motorista acelera os motores elétricos consomem energia proveniente das baterias e quando o motorista freia, o motor funciona como um gerador, fornecendo energia para as baterias, tendo um funcionamento parecido com o do KERS eletrônico utilizado na fórmula 1, diferenciando apenas na capacidade de armazenamento de energia e na potência do motor/gerador elétrico.

### 3.3.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

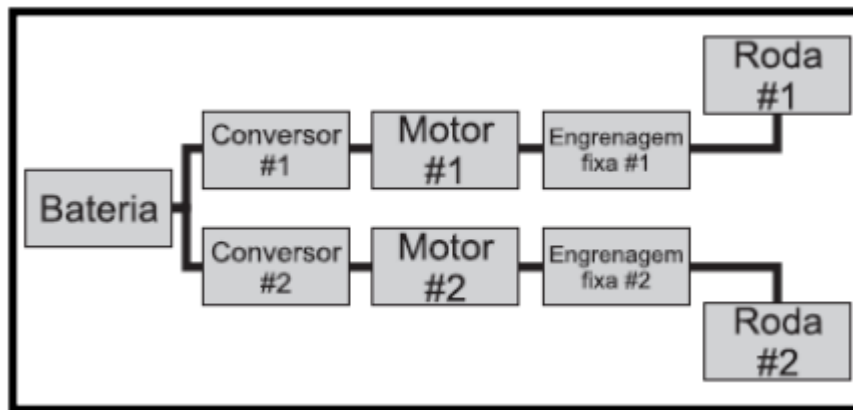
Veículos elétricos vêm tomando espaço no mercado internacional de veículos, isso tem ocorrido devido ao avanço do preço do petróleo e o aumento da preocupação com a poluição gerada por veículos à combustão interna. Esses veículos substituem o motor à combustão interna por motores elétricos alimentados por um banco de baterias, sendo um dos primeiros tipos de veículo de transporte a implantar a regeneração de energia. De acordo com GOLDEMBERG, LEBENSTAJN E PELLINI (2005, apud SANTOS, 2009) existem basicamente quatro configurações para o veículo elétrico, todas elas usam a frenagem regenerativa para ajudar a aumentar a autonomia do veículo.

No primeiro esquema de funcionamento, figura 15, um conjunto de baterias alimenta o motor por meio de um conversor eletrônico que promove o fluxo bidirecional, fazendo também a recarga do conjunto de baterias no processo de frenagem e a potência é transferida por uma embreagem diferencial para as rodas.



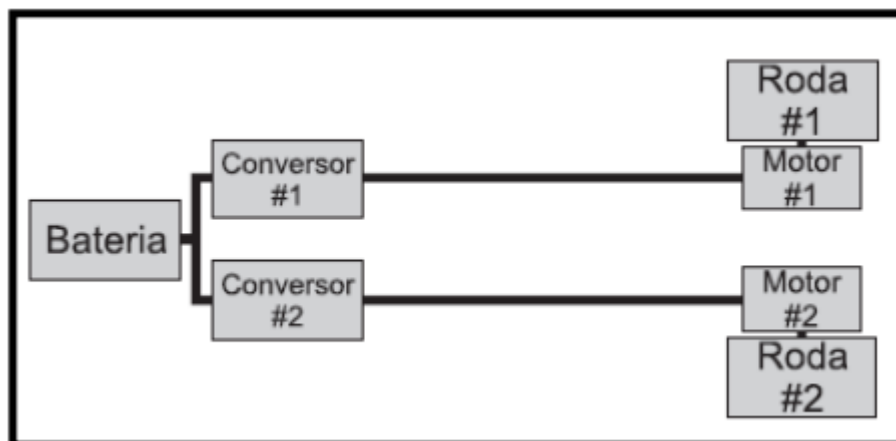
**Figura 15: Veículo elétrico com apenas um motor (GOLDEMBERG; LEBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

Já no segundo esquema de funcionamento, figura 16, o carro é movido por dois motores elétricos, alimentado pelo mesmo conjunto de baterias através de dois conversores eletrônicos. Sendo assim, o veículo não precisa da embreagem diferencial para dividir a potência entre as rodas, utilizando um sistema eletrônico para fazer o ajuste da transmissão de potência dos motores para roda.



**Figura 16: Veículo elétrico com dois motores (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

O terceiro esquema de funcionamento, figura 17, permite a montagem direta dos motores nas rodas dos veículos, eliminando a engrenagem fixa. Para tanto, é necessário que os motores aplicados sejam de um tamanho reduzido, permitindo que o veículo tenha dimensões menores e um peso total menor.



**Figura 17: Veículo elétrico com acoplamento dos motores direto às rodas (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

O quarto esquema de montagem, figura 18, utiliza uma célula de hidrogênio para alimentar um gerador elétrico que abastece o conjunto de baterias que, por sua vez, abastece os motores elétricos.



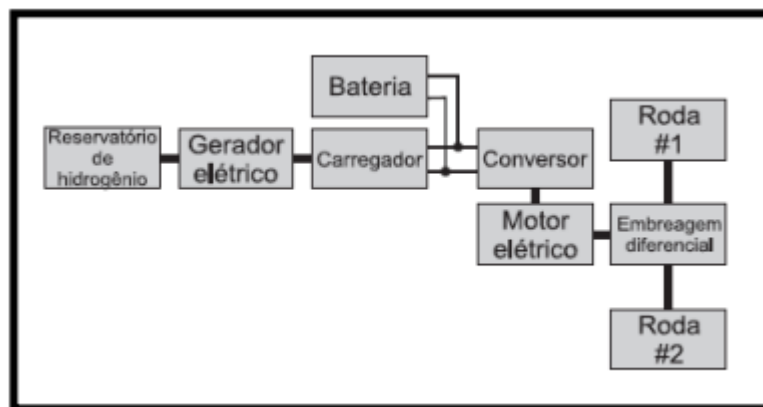


Figura 18: Veículo elétrico com célula de hidrogênio (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).

### 3.3.2 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Veículos híbridos são veículos que utilizam motores de combustão interna e motores elétricos. Esses veículos possuem autonomia maior do que os veículos elétricos, pois apresentam dois reservatórios de energia, sendo um o tanque de combustível que alimenta o motor de combustão interna e o outro um conjunto de baterias que alimenta o motor elétrico.

Esses veículos utilizam a frenagem regenerativa para recarregar o conjunto de baterias de uma maneira similar aos veículos elétricos, no entanto, não precisam ser plugados à tomada para recarregar o conjunto de baterias, uma vez que o próprio sistema de regeneração realimenta as baterias. Esse processo é feito a partir da inversão do movimento do motor elétrico, que quando o veículo está freando entra em modo reverso, gerando corrente elétrica que alimenta o conjunto de baterias do veículo (ROCHA; ALBERTON; OLIVEIRA, 2014), conforme figura 19.

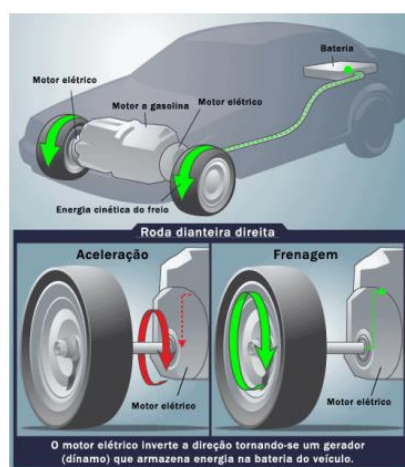
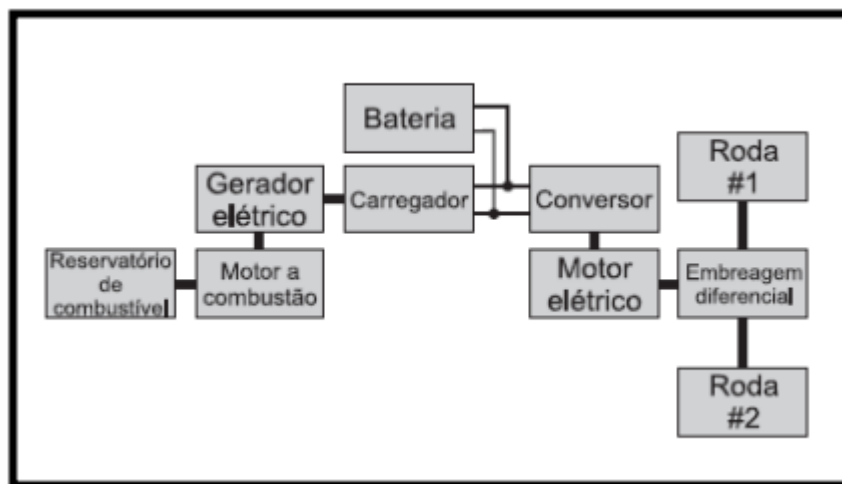


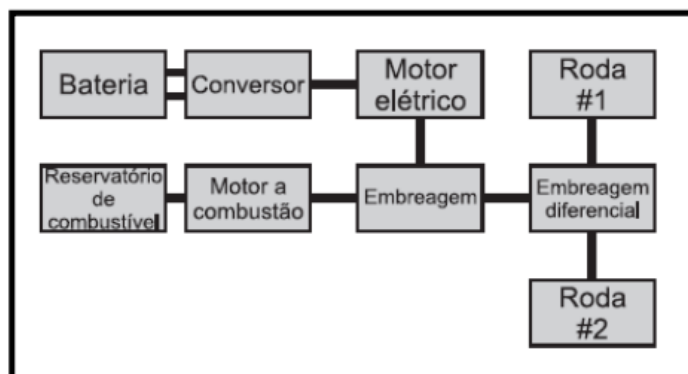
Figura 19: Veículo Híbrido (ROCHA; ALBERTON; OLIVEIRA, 2014).

Segundo GOLDEMBERG, LEBENSTAJN E PELLINI (2005, apud SANTOS, 2009), há quatro esquemas de montagem dos dispositivos para carros híbridos. No primeiro esquema, figura 20, os componentes são montados em série, cabendo ao motor à combustão elétrica a função de mover um gerador elétrico, que por sua vez carrega o conjunto de baterias que alimenta o motor elétrico, responsável pela tração do veículo e regeneração de energia nos processos de frenagem.



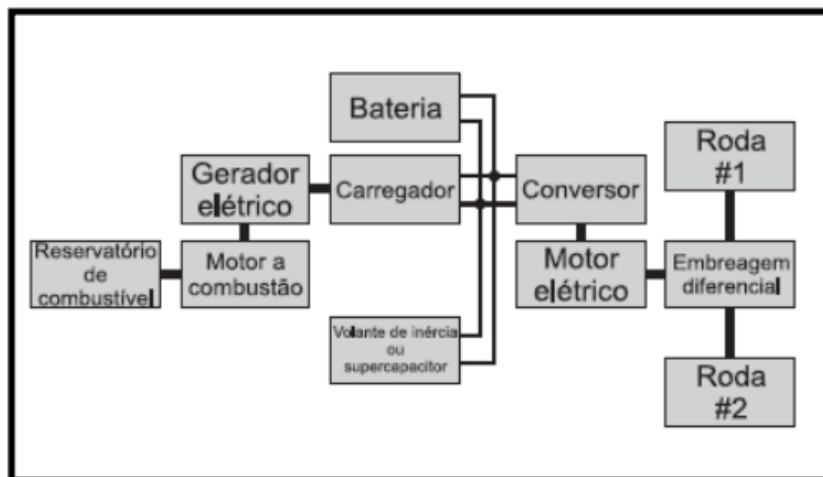
**Figura 20: Veículo híbrido montagem em série (GOLDEMBERG; LEBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

No segundo esquema de montagem, figura 21, os componentes são montados em paralelo. Sendo assim, tanto o motor elétrico como o motor à combustão internar tracionam as rodas do veículo, sendo possível a utilização de apenas um dos motores ou de ambos ao mesmo tempo através do acoplamento do sistema de embreagem. Nessa configuração o motor elétrico também é utilizado como um gerador nos processos de frenagem.



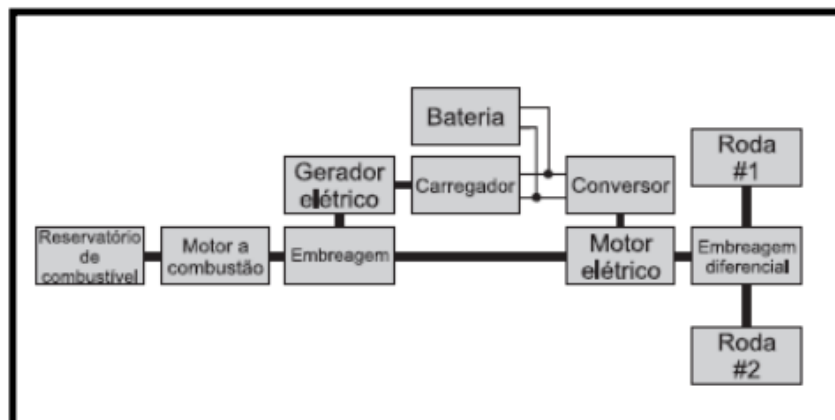
**Figura 21: Veículo híbrido montagem em paralelo (GOLDEMBERG; LEBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

No terceiro esquema de montagem, figura 22, é introduzido um sistema de supercapacitores ou volante de inércia para captura de picos de energia no processo de frenagem, retirando do motor elétrico a função de captar a energia cinética no processo de frenagem.



**Figura 22: Veículo Híbrido com armazenamento de pico de energia (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

No quarto esquema de montagem, figura 23, o motor à combustão interna alimenta tanto as baterias quanto o motor elétrico diretamente, isso para que, em situações de retomadas e acelerações fortes, o motor seja alimentado por uma corrente mais alta (SANTOS, 2009).



**Figura 23: Veículo híbrido montagem em série-paralelo (GOLDEMBERG; LEMBENSTAJN; PELLINI, 2005).**

### 3.4 FRENAGEM REGENERATIVA EM TRENS DE PASSAGEIROS

A frenagem elétrica é uma solução utilizada há bastante tempo em trens de carga e de passageiros, esse tipo de frenagem reduz a carga sobre o sistema de frenagem por atrito, aumentando a vida útil de componentes como sapatas de freio e tambores. Nos trens, o sistema de frenagem elétrica é utilizado, em situações normais de operação, para reduzir a velocidade até certo limite, sendo necessário um sistema mecânico de freios por atrito para realizar a parada total do trem (TAVARES, FLORES, OSÓRIO, BLAUTH, 2010).

Os freios elétricos de trens funcionam, basicamente, invertendo o funcionamento do motor elétrico de indução, que passa a gerar um torque contrário ao movimento, diminuindo a velocidade do motor e, conseqüentemente reduzindo a velocidade do trem. Essa inversão do funcionamento do motor faz com que este passe a atuar como um gerador de energia elétrica que, em freios reostáticos, é transformada em calor por um banco de resistores. Esse tipo de frenagem que utiliza um banco de resistores para dissipar a energia da frenagem em forma de calor é conhecido como frenagem reostática, tecnologia ultrapassada, utilizada pelos trens mais antigos.

As figuras 24 e 25 mostram, respectivamente, a disposição do banco de resistores em um trem e o esquema de funcionamento da frenagem elétrica reostática.

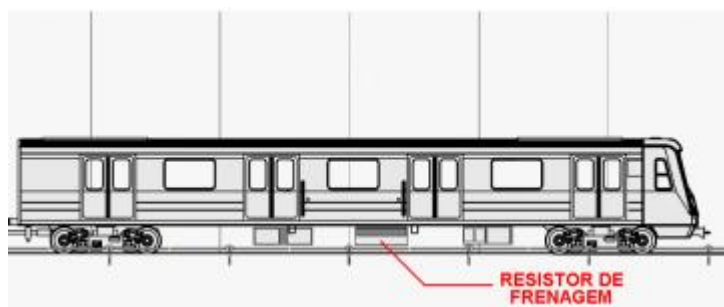
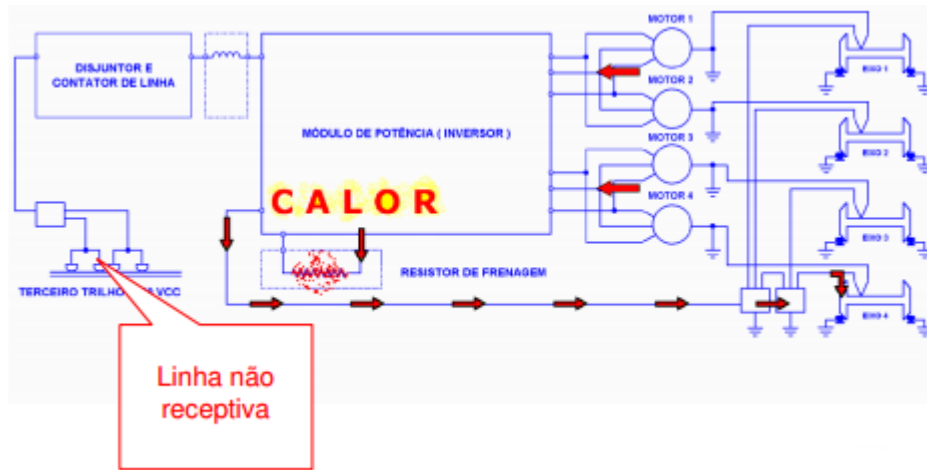
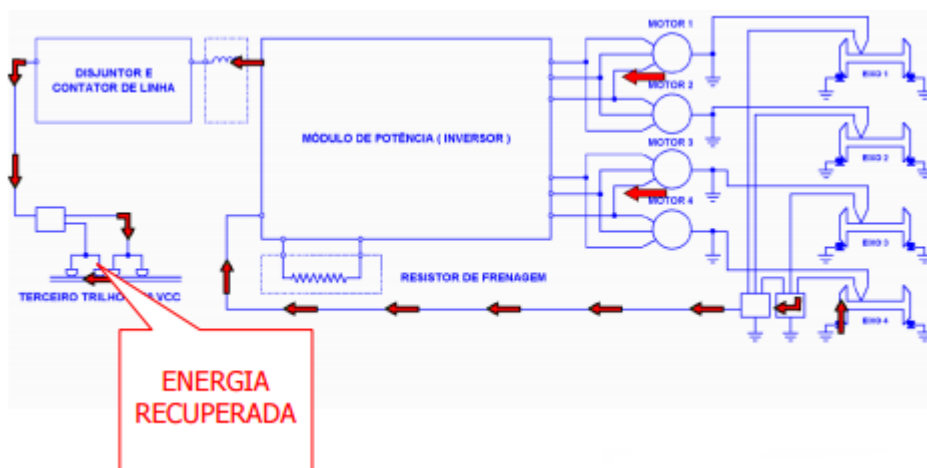


Figura 24: Disposição do conjunto de resistores de frenagem (MATSUDO, 2013).



**Figura 25: Esquema de funcionamento da frenagem reostática (MATSUDO, 2013).**

Como se pode observar na figura 25, boa parte da energia cinética, no processo de frenagem, é desperdiçada em forma de calor no banco de resistores. Buscando evitar o desperdício, as empresas implantaram o sistema de frenagem regenerativa em trens. Sendo assim, uma parte da energia cinética, no processo de frenagem, é transformada em energia elétrica e, ao invés de ser dissipada em resistores, é recuperada e armazenada em baterias ou devolvida para a linha de alimentação do trem, conforme figura 26, ajudando a diminuir o consumo.



**Figura 26: Esquema de funcionamento da frenagem regenerativa em trens (MATSUDO, 2013).**

Seguindo a tendência de redução de consumo, as concessionárias de transporte ferroviário e metroviário estão ampliando a utilização de sistemas de frenagem regenerativa em seus maquinários. Na Filadélfia, a empresa Southeastern Pennsylvania Transit Authority (SEPTA) está utilizando uma solução proposta pela empresa ABB que consiste em armazenar a energia

gerada pela frenagem do trem, durante o seu percurso, em baterias para que esta seja devolvida para a rede quando o trem parar em uma estação, ou para que seja utilizada para mover o trem em períodos de pico de consumo, reduzindo o consumo energético em até 10% (ABB, 2016).

No Brasil, os sistemas ferroviário e metroviário nacional apresentam uma grande defasagem tecnológica em relação aos países desenvolvidos e emergentes. Maioria dos trens e metrô utilizados pelas concessionárias de transporte metroviário e ferroviário nacional apresentam sistemas de frenagem reostática, com a ausência do sistema de regeneração, o que aumenta o consumo de energia desse maquinário e eleva o custo operacional (OLIVEIRA; LARocca, 2013).

### **3.5 FRENAGEM REGENERATIVA EM ELEVADORES DE PASSAGEIROS**

No setor de transporte vertical a regeneração está sendo aplicada em dispositivos elevadores de cargas e elevadores de passageiros. Os elevadores reaproveitam a energia da frenagem da cabina, e da frenagem do contrapeso, gerando energia quando sobem com uma carga inferior a 50% da sua carga nominal e quando descem com uma carga superior a 50% de sua carga nominal (THYSSENKRUPP, 2009).

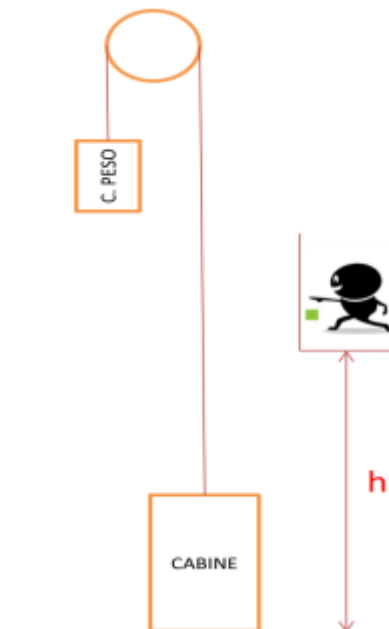
Normalmente, o contrapeso tem uma massa igual à massa da cabine acrescida da metade de sua capacidade. Isso explica o fato de os elevadores reaproveitarem a energia da frenagem de maneira mais eficiente quando ele está totalmente vazio ou totalmente cheio. Quando o elevador sobe completamente vazio, ou com carga inferior a 50% da capacidade, o peso do contrapeso é maior do que o peso da cabina, sendo essa diferença de peso maior para a menor carga na cabina, o que faz com que o elevador utilize menos o motor para erguer a cabina e mais o freio para limitar a velocidade do contrapeso, regenerando energia na frenagem do contrapeso.

Já na descida, a lógica se inverte, o contrapeso deverá ser erguido para que a cabine desça. Nessa situação a regeneração de energia ocorre com carga superior a 50% da capacidade da cabina, sendo a regeneração maior para maiores cargas na cabina. Na descida o desejável é que se tenha a carga máxima para que se possa utilizar o peso da cabina para reduzir o esforço do motor para erguer o contrapeso e regenerar energia freando a cabina.

Os cálculos a seguir evidenciam a capacidade de regeneração de energia potencial nos cenários de subida e de descida do elevador. Para tanto, considerar as seguintes variáveis: peso do contrapeso (CP, convencionado como peso da cabina adicionado de 50 % da capacidade nominal de carga, ou seja, peso da cabina somado ao peso de quatro passageiros), peso da cabine (CAB), peso de uma pessoa (P), variação de energia potencial ( $\Delta E_p$ ) e altura do pavimento (h).

A figura 27 representa a subida do elevador vazio, sendo acionado por uma pessoa.

#### I. Subida do elevador vazio



**Figura 27: Subida do elevador vazio (DUGONSKI; ZOSCHKE, 2011).**

Nesse cenário, o elevador está sendo acionado por uma pessoa em um pavimento que está a uma altura h do solo. O elevador está subindo vazio, sendo o peso do contrapeso maior do que o peso da cabine, regenerando energia como se pode observar pelos cálculos:

$$CP = CAB + 4 \cdot P \quad (4)$$

$$\Delta E_p = h \cdot CP - h \cdot CAB \quad (5)$$

$$\Delta E_p = h \cdot (CAB + 4 \cdot P - CAB) \quad (6)$$

$$\Delta E_p = 4 \cdot P \cdot h \quad (7)$$

Como se pode observar, na subida com o elevador vazio a energia potencial que pode ser regenerada vale 4 vezes o peso de uma pessoa vezes a altura do pavimento. Além disso, pode-se observar que quanto maior for a quantidade de pessoas ocupando o elevador na subida, menor será o potencial de energia a ser regenerada e que o sistema passará a consumir energia quando a ocupação da cabina for maior do que 4 passageiros (metade da capacidade de carga).

A figura 28 representa a descida do elevador com uma pessoa à bordo.

## II. Descida com uma pessoa

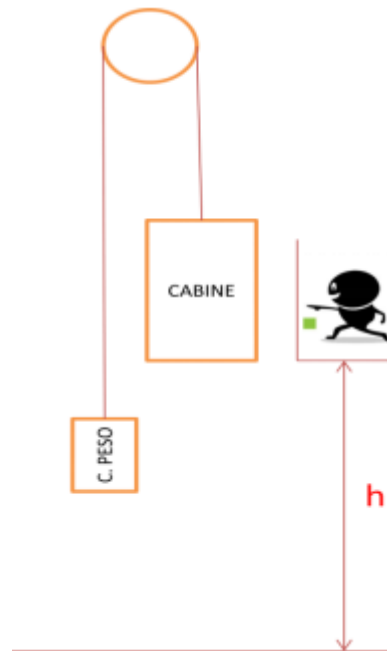


Figura 28: Descida com apenas um ocupante (DUGONSKI; ZOSCHKE, 2011).

Nesse cenário o usuário está descendo do seu pavimento para o solo, percorrendo uma altura  $h$ . O elevador está descendo com uma pessoa apenas, sendo assim o peso do contrapeso é maior do que o peso da cabine, sendo necessário um esforço do motor para erguer o contrapeso e baixar a cabine, sem regenerar energia.

$$CP = CAB + 4 \cdot P \quad (8)$$

$$\Delta E_p = h \cdot (CAB + P) - h \cdot CP \quad (9)$$

$$\Delta E_p = h \cdot (CAB + P - CAB - 4 \cdot P) \quad (10)$$



$$\Delta E_p = -3 \cdot P \cdot h \quad (11)$$

Como se pode observar, na descida com o elevador ocupado por apenas um passageiro, é necessário que o motor forneça energia para o sistema para suprir a diferença de energia potencial de 3 vezes o peso de uma pessoa (P) vezes a altura do pavimento (h). Além disso, pode-se observar que quanto maior for a quantidade de pessoas ocupando o elevador na descida, menor será a diferença de energia potencial que o motor precisará suprir e o sistema passará a regenerar energia com uma ocupação maior do que quatro passageiros (metade da capacidade de carga).

A tabela 4 representa o potencial de economia de energia de acordo com a carga transportada, esses dados foram levantados em um estudo para modernização dos elevadores do prédio do Banco BRB de Brasília pela empresa FOX Engenharia e Consultoria (PEREIRA; SANTOS, 2010). Os elevadores desse prédio atendem 18 pavimentos e têm uma capacidade de carga de 17 passageiros.

**Tabela 4: Potencial de economia em elevadores conforme a carga (PEREIRA; SANTOS, 2010).**

<b>CARGA %</b>	<b>Drive Convencional</b>	<b>Drive Regenerativo</b>	<b>ECONOMIA %</b>
0% (0 Kgf)	142.752 Kwh	59.603Kwh	58,25
25% (400 Kgf)	77.011 Kwh	41.152 Kwh	46,56
50% (800 Kgf)	41.757 Kwh	41.025 Kwh	1,75
75% (1200 Kgf)	87.080 Kwh	46.200 Kwh	46,95
100% (1600 Kgf)	153.000 Kwh	62.520 Kwh	59,14
<b>TOTAL</b>	<b>501.600 Kwh</b>	<b>250.500 Kwh</b>	<b>50,05</b>

Como se pode observar na tabela 4, a regeneração de energia é maior para as condições de plena carga (100%) e totalmente vazio (0%). Já à meia carga (50%) a regeneração é mínima, isto devido ao peso da cabina se aproximar ao peso do contrapeso nesta condição, o que diminui o diferencial de energia potencial, comprometendo a regeneração de energia.

## 4 ESTUDO PRELIMINAR

### 4.1 PARAMETROS DE PROJETO

O estudo preliminar aborda uma estimativa da quantidade de energia que pode ser regenerada em um sistema de elevação com o uso de um sistema de regeneração. Para fins de determinação do limite do percentual de energia que pode ser regenerada, adotou-se que o sistema de elevação desse edifício operava em condições limites, atendendo a sua demanda de acordo com sua capacidade máxima. Para tanto, foi utilizado um edifício padrão da Asa Sul de Brasília de 6 pavimentos, com 12 apartamentos por andar, conforme tabela 5. O edifício possui 3 prumadas, cada prumada possuindo 4 apartamentos por andar e 2 elevadores.

**Tabela 5: Configuração padrão dos apartamentos da Asa Sul de Brasília (BRINO, 2003).**

A POPULAÇÃO			(5 <sup>+</sup> pessoas / apart.)
6 apartamentos por pavimento	36 apartamentos por bloco	396 apartamentos por superquadra	1.980 pessoas por superquadra
8 apartamentos por pavimento	48 apartamentos por bloco	528 apartamentos por superquadra	2.640 pessoas por superquadra
10 apartamentos por pavimento	60 apartamentos por bloco	660 apartamentos por superquadra	3.300 pessoas por superquadra
12 apartamentos por pavimento	72 apartamentos por bloco	792 apartamentos por superquadra	3.960 pessoas por superquadra

Como se trata de um estudo preliminar, alguns parâmetros referentes à estrutura do prédio e aos elevadores foram adotados com base no Manual de Transporte Vertical em Edifícios (SCHINDLER). Adotou-se que o espaçamento entre cada pavimento é de 3 m, em cada apartamento residem 5 moradores e a capacidade máxima de cada elevador é de 8 passageiros.

A velocidade nominal dos elevadores foi selecionada com base na tabela 6. Uma vez que o percurso total é de 18 m, a velocidade nominal adotada foi de 1 m/s.

**Tabela 6: Velocidades recomendadas para edifícios comerciais (SCHINDLER).**

Percurso (m)	Velocidade (m/s)
até 29	de 0,75 a 1,00
de 30 a 44	de 1,00 a 1,50
de 45 a 59	de 1,25 a 2,00
de 60 a 74	de 1,75 a 2,50
de 75 a 90	de 2,50 a 3,50

O tempo de aceleração e retardo foi adotado com base na tabela 7. Como a velocidade nominal é de 1 m/s, o tempo de aceleração e retardo por parada adotado foi de 3 segundos.

**Tabela 7: Tempo de aceleração e retardo (SCHINDLER).**

Velocidade (m/s)	Tempo por parada
0,75	2,5
1,00	3,0
1,25	3,0
1,50	3,5
1,75	4,0
2,00	4,5
2,50	5,5
acima de 2,50	6,0

O tempo de entrada e saída de passageiros foi adotado com base na tabela 8. Considerou-se que a abertura da porta é de 0,8 m, o que implica em um tempo de entrada e saída de passageiros por parada de 2,4 segundos.

**Tabela 8: Tempo de entrada e saída de passageiros (SCHINDLER)**

Abertura da Porta	Tempo por passageiro
menor que 1,10m	2,4
maior ou igual a 1,10m	2,0

O tempo de abertura e fechamento de portas foi adotado com base na tabela 9. Considerou-se que os elevadores possuíam abertura lateral, o que implica em um tempo de abertura e fechamento de portas de 5,5 segundos.

**Tabela 9: Tempo de abertura e fechamento de portas (SCHINDLER).**

Tipo de Porta	Tempo por parada
Abertura Central (AC)	3,9
Abertura Lateral (AL)	5,5
Eixo Vertical (EV)*	6,0

Os parâmetros adotados estão representados na tabela 10.

**Tabela 10: Parâmetros adotados**

Número de pavimentos	6
Distância entre pavimentos (m)	3
Percurso total (m)	18
Número de prumadas	3
Número de apartamentos por andar em cada prumada	4
Número de elevadores em cada prumada	2
Número total de apartamentos	72
Número de pessoas por apartamento	5
Número total de pessoas	360
Velocidade nominal (m/s)	1
Capacidade de cada elevador (pessoas)	8
Número de paradas prováveis	5,6
Tipo de portas	Abertura lateral
Abertura livre (m)	0,8
Tempo de aceleração e retardo (s)	3
Tempo de entrada e saída de passageiros (s)	2,4
Tempo de abertura e fechamento de portas (s)	5,5

A partir dos parâmetros adotados, foi feito o cálculo dos tempos totais, da capacidade de transporte, da capacidade de tráfego, do intervalo de tráfego, do tempo total para se atender toda a população do prédio e a quantidade de viagens completas que cada elevador deve realizar para atender toda a população do prédio. Esse cálculo foi desenvolvido para cada prumada do prédio, pois não há comunicação entre apartamentos de uma prumada e outra. O cálculo foi desenvolvido com o auxílio do programa MATLAB, através do código

desenvolvido para cálculo de tráfego em conformidade com a norma ABNT NBR 5665 (1983).

A tabela 11 mostra os tempos totais, a capacidade de transporte de cada elevador, a capacidade de tráfego, o intervalo de tráfego, o tempo total para se atender toda a população do prédio e a quantidade de viagens, de cada elevador, necessárias para atender a população.

**Tabela 11: Cálculo de tráfego por prumada.**

Tempo de percurso total (s).	36
Tempo total de aceleração e retardo (s).	8,40
Tempo total de abertura e fechamento de portas (s).	30,82
Tempo total de entrada e saída de passageiros (s).	19,20
Tempo total de viagem (s).	99,43
Capacidade de transporte (em 300 s).	24,13
Capacidade de tráfego.	49
Intervalo de tráfego (s).	42,72
Tempo total para atender a população do prédio (s).	683,61
Quantidade de viagens, de cada elevador, para atender toda a população.	7

## **4.2 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ENERGIA REGENERADA**

Para se obter a estimativa da quantidade de energia regenerada, foi feito um cálculo com o auxílio do programa MATLAB através do código desenvolvido para este cálculo. Para tanto, algumas hipóteses foram adotadas a fim de assegurar uma boa aproximação da realidade.

Fez-se a análise da entrada e saída de habitantes do prédio, considerando-se que todos saíam no período da manhã e retornavam no período da noite, ocasionando, nesses dois períodos, o fluxo máximo de passageiros, fazendo com que o sistema operasse em sua capacidade máxima. Além disso, considerou-se que os habitantes do prédio só entravam e saíam do prédio uma vez por dia, saindo pela manhã e retornando pela noite.

Utilizou-se a quantidade de viagens que cada elevador deveria realizar para atender a demanda, 7, em cada período do dia para se fazer a estimativa da quantidade de energia que os elevadores conseguem regenerar em períodos de pico de tráfego e foi feita a análise para os dois cenários a fim de se obter a estimativa de quanto se regenera nos períodos da manhã e noite, somando-se as duas quantidades de energia para se obter uma estimativa de quanto se regenera ao longo do dia.

Considerou-se que a massa média de uma pessoa é de 75 kg, a massa da cabina é de 1000 kg e a massa do contrapeso vale a massa da cabina mais a massa de 4 pessoas, 1300 kg. A eficiência de geração de energia do motor de indução funcionando como gerador,  $\eta_g$ , foi estimada em 0,6 (DUGONSKI, ZOSCHKE, 2011) e a eficiência do motor de indução,  $\eta_m$ , foi estimada em 0,98 (DUGONSKI, ZOSCHKE, 2011).

#### 4.2.1 SAÍDA PELA MANHÃ

Nesse cenário os moradores estão saindo de seus apartamentos para o térreo, descendo. Admitiu-se que o sistema operaria na carga máxima (8 passageiros), o elevador iria se encontrar no térreo e iria subir vazio até o sexto pavimento, onde os passageiros começariam a embarcar e o elevador iria parando nos outros pavimentos para receber os outros passageiros.

Para facilitar o cálculo da distribuição de massa dos passageiros ao longo da descida, foi adotado que em cada pavimento o elevador recebia o equivalente a 1,33 pessoa, essa estimativa foi feita dividindo-se a capacidade de carga de cada elevador (8 passageiros) pela quantidade de pavimentos (6), a fim de se obter uma distribuição de massa constante.

Na subida, vazio, o elevador está na sua condição de maior regeneração, uma vez que a diferença de peso entre o contrapeso e a cabina equivale ao peso de 4 passageiros. Sendo assim, a quantidade total de energia regenerada pode ser calculada da seguinte forma:

$$E_{regenerada} = Q \cdot n \cdot (4 \cdot P \cdot H_t) \cdot \eta_g \quad (12)$$

Em que a quantidade de viagens,  $Q$ , vale 7, o número de elevadores,  $n$ , vale 6, o peso de cada passageiro,  $P$ , vale 735,75 N, o percurso total,  $H_t$ , vale 18 m e a eficiência de geração de energia,  $\eta_g$ , vale 0,6. Ao se processar esse cálculo, obteve-se uma quantidade de energia regenerada de, aproximadamente, 1,33 MJ.

Na descida, o elevador começa a ser carregado no sexto pavimento com uma carga equivalente ao peso de 1,33 pessoa, recebendo um incremento de carga equivalente ao peso de 1,33 pessoa em cada andar que ele para até atingir seu máximo de carga no primeiro pavimento. Sendo assim, o elevador só começará a regenerar energia a partir do terceiro andar, obtendo potencial máximo de regeneração apenas no primeiro andar. A quantidade total de energia regenerada pode ser calculada da seguinte forma:

$$E_{regenerada} = Q \cdot n \cdot (1,33 \cdot P \cdot H_p + 2,69 \cdot P \cdot H_p + 4 \cdot P \cdot H_p) \cdot \eta_g \quad (13)$$

Em que a quantidade de viagens,  $Q$ , vale 7, o número de elevadores,  $n$ , vale 6, o peso de cada passageiro,  $P$ , vale 735,75 N, a distância entre cada pavimento,  $H_p$ , vale 3 m e a eficiência de geração de energia,  $\eta_g$ , vale 0,6. Ao se processar esse cálculo, obteve-se uma quantidade de energia regenerada de, aproximadamente, 0,44 MJ.

A quantidade total de energia regenerada no período da manhã é obtida somando-se a quantidade de energia regenerada na subida e na descida, obtendo-se um total de, aproximadamente, 1,78 MJ.

A quantidade de energia consumida pela manhã é a menor quantidade de energia consumida pelo sistema, uma vez que utiliza-se o motor, apenas, na descida enquanto o elevador não é carregado com uma carga equivalente ao peso de quatro pessoa, pois na subida, uma vez que a cabina está vazia, o peso do contrapeso é maior do que o peso da cabina, dispensando a necessidade de uso do motor para se erguer a cabina. Sendo assim, a quantidade total de energia consumida durante a manhã pode ser calculada da seguinte forma:

$$E_{consumida} = \frac{Q \cdot n \cdot (2,66 \cdot P \cdot H_p + 1,33 \cdot P \cdot H_p)}{\eta_m} \quad (14)$$

Em que a quantidade de viagens,  $Q$ , vale 7, o número de elevadores,  $n$ , vale 6, o peso de cada passageiro,  $P$ , vale 735,75 N, a distância entre cada pavimento,  $H_p$ , vale 3 m e a eficiência do motor,  $\eta_m$ , vale 0,6. Ao se processar esse cálculo, obteve-se uma quantidade de energia consumida de, aproximadamente, 0,38 MJ.

#### 4.2.2 RETORNO NO FIM DO DIA

Nesse cenário os moradores estão indo do térreo para seus apartamentos, subindo. Admitiu-se que o sistema operaria na carga máxima (8 passageiros), o elevador iria se encontrar no térreo

e iria subir cheio até o primeiro pavimento, onde iria se dar início ao desembarque de passageiros, ficando completamente vazio, apenas, no sexto pavimento.

Para facilitar o cálculo da distribuição de massa dos passageiros ao longo da subida, foi adotado que em cada pavimento o elevador liberaria o equivalente a 1,33 pessoa, essa estimativa foi feita dividindo-se a capacidade de carga de cada elevador (8 passageiros) pela quantidade de pavimentos (6), a fim de se obter uma distribuição de massa constante.

Na subida, cheio, o elevador está na sua condição de maior consumo, uma vez que a diferença de peso entre a cabina e o contrapeso equivale ao peso de 4 passageiros, mas essa relação vai diminuindo ao longo do percurso do elevador à medida que os passageiros vão chegando a seus andares, passando a regenerar energia a partir do quarto andar. Sendo assim, a quantidade total de energia regenerada pode ser calculada da seguinte forma:

$$E_{regenerada} = Q \cdot n \cdot (1,33 \cdot P \cdot H_p + 2,69 \cdot P \cdot H_p) \cdot \eta_g \quad (15)$$

Em que a quantidade de viagens,  $Q$ , vale 7, o número de elevadores,  $n$ , vale 6, o peso de cada passageiro,  $P$ , vale 735,75 N, a distância entre cada pavimento,  $H_p$ , vale 3 m e a eficiência de geração de energia,  $\eta_g$ , vale 0,6. Ao se processar esse cálculo, obteve-se uma quantidade de energia regenerada de, aproximadamente, 0,22 MJ.

Na descida, o elevador está na sua condição de maior consumo de energia, uma vez que o peso da cabina vazia é inferior ao peso do contrapeso sendo necessária a utilização do motor para erguer o contrapeso, não havendo regeneração de energia.

A quantidade de energia consumida no período da noite a maior quantidade de energia consumida pelo sistema, uma vez que utiliza-se o motor tanto na subida, quanto na descida. Sendo assim, a quantidade total de energia consumida durante a noite pode ser calculada da seguinte forma:

$$E_{consumida} = \frac{Q \cdot n \cdot [(4 \cdot P \cdot h_p + 2,66 \cdot P \cdot H_p + 1,33 \cdot P \cdot H_p) + (4 \cdot P \cdot H_t)]}{\eta_m} \quad (16)$$

Em que a quantidade de viagens,  $Q$ , vale 7, o número de elevadores,  $n$ , vale 6, o peso de cada passageiro,  $P$ , vale 735,75 N, o percurso total,  $H_t$ , vale 18 m, a distância entre cada pavimento,  $H_p$ , vale 3 m e a eficiência do motor,  $\eta_m$ , vale 0,6. Ao se processar esse cálculo, obteve-se uma quantidade de energia regenerada de, aproximadamente, 3,02 MJ.

A quantidade total de energia regenerado ao longo de um dia pode ser obtida somando-se a quantidade total regenerada durante os períodos de manhã e noite, o que resulta em uma quantidade de, aproximadamente 2 MJ de energia regenerada por dia.



O percentual de energia regenerada durante o dia pode ser obtido dividindo-se a quantidade total de energia regenerada, 2 MJ, pela quantidade total de energia consumida durante o dia, 3,4 MJ, resultando em um percentual de 58,78% de energia regenerada, o que é coerente com a teoria e com o estudo apresentado pela empresa FOX Engenharia e consultoria, regeneração de 59,12% (PEREIRA, SANTOS, 2010). Os resultados obtidos no estudo preliminar podem ser observados na tabela 12.

**Tabela 12: Resultados do estudo preliminar.**

Quantidade total de energia regenerada ao longo do dia (MJ)	2,00
Quantidade total de energia consumida ao longo do dia (MJ)	3,4
Percentual de energia regenerada ao longo do dia (%)	58,78

#### **4.3 POSSIBILIDADES DE USO DA ENERGIA REGENERADA**

Levando em conta que o uso de elevadores em prédios residenciais se dá de uma maneira substancialmente maior do que na situação hipotética do estudo preliminar, a quantidade de energia regenerada ao longo do dia deverá ser maior. No entanto, a operação corriqueira do sistema de elevação se dá de maneira diferenciada em relação ao estudo preliminar, geralmente a ocupação média da cabine é bem menor do que as adotadas na condição limite, fazendo com que o percentual de energia regenerada caia em condições normais de operação.

Como se pode observar no estudo preliminar, uma boa quantidade de energia é regenerada com o uso da frenagem regenerativa em condições limites de operação permitindo que algumas possibilidades sejam levantadas.

Diante das varias finalidades de consumo de energia de um edifício residência, iluminação, aquecimento, refrigeração, bombeamento de água e transporte de pessoas, existem várias possibilidades de uso da energia regenerada. No entanto, deve-se fazer um estudo da alternativa que se tem o melhor aproveitamento mediante à inconstância da geração de energia pela frenagem regenerativa.

Alguns estudos na área já abordaram essas alternativas, obtendo-se bons resultados para a utilização da energia regenerada para o bombeamento de água potável (DUGONSKI, ZOSCHKE, 2011) e devolver diretamente para rede de alimentação do prédio com o uso de

um inversor de frequência (THYSSENKRUPP, 2009). No entanto, cada edifício residencial tem sua distribuição de consumo de energia, devendo ser feito um levantamento detalhado para se obter a melhor alternativa de uso da energia regenerada.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento do presente estudo de caso foram levados em considerações dois edifícios residenciais, um localizado em Águas Claras – DF e outro localizado na Asa Norte, com o intuito de verificar a quantidade de energia consumida e a quantidade de energia que pode ser regenerada com o uso de um sistema de regeneração. Para tanto o presente estudo de caso se deu através das seguintes etapas:

- Análise do fluxo de passageiros ao longo do dia em cada edifício;
- Desenvolvimento de memorial de cálculo para estimativa da quantidade de energia consumida para o transporte de passageiros, bem como para a estimativa da quantidade potencial de energia regenerada com o uso do sistema de regeneração;
- Processamento dos dados obtidos para a escolha da melhor aplicação para a energia regenerada.

A análise do fluxo de passageiros ao longo do dia foi feita com base no levantamento da quantidade de passageiros que utilizaram o elevador durante uma faixa de horário de 8 horas para o edifício em Águas Claras e 6 horas para o edifício da Asa Norte. Esse levantamento foi feito através da verificação do circuito interno de câmeras para se observar a quantidade de pessoas que utilizavam o elevador, bem como a quantidade de passageiros por viagem durante dias da semana, sendo utilizada a média da quantidade de passageiros em cada faixa de horário.

Para facilitar o desenvolvimento dos cálculos da estimativa da quantidade de energia consumida e da estimativa do potencial de energia regenerada com o uso do sistema de regeneração, foram desenvolvidas duas rotinas de cálculo no programa MATLAB sendo uma para o edifício de Águas Claras e outra para o edifício da Asa Norte.

As rotinas de cálculo desenvolvidas têm como entradas as características do edifício e do sistema de elevação (número de pavimentos do edifício, quantidade de apartamentos por andar, número de quartos por apartamento, número de elevadores, velocidade nominal do elevador, tempo de aceleração e retardo, tempo de abertura e fechamento de portas, tempo de

entrada e saída de passageiros), além disso, utilizou-se a distribuição da quantidade de passageiros ao longo do período analisado como entrada.

Algumas aproximações foram levadas em consideração com base na observação do comportamento dos passageiros e do sistema de elevação no levantamento de dados:

- O percurso realizado pelo elevador em suas viagens é o percurso médio ( $P_m$ );
- O elevador encontra-se vazio quando um passageiro o chama;
- O estudo leva em conta somente os dias da semana, deixando de contabilizar os finais de semana de um mês;
- A eficiência de regeneração e de funcionamento do elevador é de sessenta por cento (DUGONSKI; ZOSCHKE, 2011).

O percurso realizado pelo elevador foi tido como o percurso médio uma vez que a distribuição do número de moradores em cada andar é igual em todos os pavimentos, além disso, há uma dificuldade de se levantar o posicionamento exato do elevador pelo circuito de câmeras, impossibilitando fazer um levantamento do fluxo de passageiros levando em conta o andar em que estes se encontram quando chamam o elevador. Sendo assim, optou-se por usar o percurso médio ( $P_m$ ) como o percurso percorrido pelo elevador em cada viagem.

O percurso médio ( $P_m$ ) é o ponto médio do percurso total ( $P_t$ ), que por sua vez é obtido com base na soma do número de pavimentos de apartamento ( $N_{ap}$ ), com o número de andares de garagem ( $N_g$ ) e com o número de subsolos ( $N_{ss}$ ), multiplicados pelas respectivas alturas de cada tipo de pavimento (3 metros para andares de apartamentos, 3 metros para andares de garagem e 5 metros para andares de subsolo), conforme equação 17.

$$P_t = 3 \cdot N_{ap} + 3 \cdot N_g + 5 \cdot N_{ss} \quad [m] \quad (17)$$

O percurso médio ( $P_m$ ) é obtido com base na metade do percurso total, sendo o ponto médio do percurso total do elevador, conforme equação 18.

$$P_m = \frac{P_t}{2} \quad [m] \quad (18)$$

A partir do percurso médio foi possível calcular o tempo médio de uma viagem ( $T_m$ ), uma vez que os tempos de aceleração e retardo ( $T_a$ ) e a velocidade nominal do elevador ( $v$ ) são os mesmos para qualquer carga, conforme equação 19.

$$T_m = \frac{P_m}{v} + T_a \quad [S] \quad (19)$$

Considerou-se que o elevador encontrava-se vazio quando um usuário o chamava devido ao fato de ter sido observado que na maioria das vezes que os passageiros chamavam os elevadores, estes estavam vazios.

O estudo contemplou apenas os dias da semana de um mês, dada a variação da quantidade de passageiros que utilizam o elevador nos finais de semana devido às movimentações atípicas, tais como festas e reuniões familiares. Sendo assim, optou-se por uma estimativa mais conservadora, levando em conta apenas 22 dias do mês.

### 5.1.1 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA CONSUMIDA

A estimativa da quantidade de energia consumida é feita com base em um balanço de energia potencial envolvendo o peso do contra peso (CP), o peso da cabina (CAB), a quantidade de passageiros (n), capacidade máxima de passageiros ( $n_{max}$ ), peso médio de um passageiro (P), o percurso médio ( $P_m$ ), a eficiência do motor ( $\eta_m$ ) e o tempo médio de cada viagem ( $T_m$ ). Com isso é possível calcular a potência elétrica necessária para o funcionamento do elevador de acordo com a quantidade de carga na subida e na descida variando a quantidade de passageiros.

Sendo assim, é possível calcular a potência necessária para se elevar uma carga de acordo com o número de passageiros, conforme equação 20.

$$Pot_{subida} = \frac{[(n \cdot P) + CAB - CP]}{\eta_m \cdot T_m} \quad [W] \quad (20)$$

Como o peso do contra peso (CP) equivale à soma do peso da cabina (CAB) com a metade da capacidade de carga nominal, ou seja, metade do peso da quantidade total de passageiros que o elevador pode transportar ( $n_{max}/2$ ), o elevador só consome energia no processo de elevação quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for maior que a metade da capacidade de carga do elevador. Por exemplo, em um elevador capaz de transportar oito passageiros, haverá consumo de energia quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for maior do que quatro, no processo de elevação.

Uma vez calculada a potência necessária para elevação de uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, é feita uma média ponderada com base no fluxo de passageiros para se obter a potência média utilizada durante a elevação de passageiros, conforme equação 21.

$$Pot_{subida-media} = \sum_{n=n_{m\acute{a}x}/2}^{n=n_{m\acute{a}x}} \frac{\Psi_n \cdot [(n \cdot P) + CAB - CP]}{\eta_m \cdot T_m \cdot \Psi} \quad [W] \quad (21)$$

Em que  $\Psi_n$  corresponde à quantidade de subidas realizadas com a ocupação correspondente ao valor de “n” e  $\Psi$  corresponde ao somatório total da quantidade de subidas realizadas pelo elevador, conforme a equação 22.

$$\Psi = \sum_{n=n_{m\acute{a}x}/2}^{n=n_{m\acute{a}x}} \Psi_n \quad (22)$$

De maneira análoga é calculada a potência necessária para descer uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, conforme equação 23.

$$Pot_{descida} = \frac{[CP - (n \cdot P) - CAB]}{\eta_m \cdot T_m} \quad [W] \quad (23)$$

Como o peso do contra peso (CP) equivale à soma do peso da cabina (CAB) com a metade da capacidade de carga nominal, ou seja, metade do peso da quantidade total de passageiros que o elevador pode transportar ( $n_{m\acute{a}x}/2$ ), o elevador só consome energia no processo de descida quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for menor que a metade da capacidade de carga do elevador. Por exemplo, em um elevador capaz de transportar oito passageiros, haverá consumo de energia quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for menor do que quatro, no processo de descida.

Uma vez calculada a potência necessária para descida de uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, é feita uma média ponderada com base no fluxo de passageiros para se obter a potência média utilizada durante a elevação de passageiros, conforme equação 24.

$$Pot_{descida-media} = \sum_{n=0}^{n=n_{m\acute{a}x}/2} \frac{\phi_n \cdot [CP - (n \cdot P) - CAB]}{\eta_m \cdot T_m \cdot \phi} \quad [W] \quad (24)$$

Em que  $\phi_n$  corresponde à quantidade de descidas realizadas com a ocupação correspondente ao valor de “n” e  $\phi$  corresponde ao somatório total da quantidade de descidas realizadas pelo elevador, conforme a equação 25.

$$\phi = \sum_{n=0}^{n=n_{m\acute{a}x}/2} \phi_n \quad (25)$$

De posse das potências médias de subida e descida e do fluxo de passageiros é possível estimar a quantidade de energia consumida diariamente tendo em posse a quantidade de horas que o sistema funciona, conforme equação 26.

$$E_{consumida} = \frac{(Pot_{subida-media} + Pot_{descida-media})}{1000} \times h \quad [kWh] \quad (26)$$

Com base na quantidade de energia consumida diariamente, é possível estimar a quantidade de energia consumida por mês, multiplicando-se a quantidade de energia consumida diariamente pela quantidade de dias do mês que o estudo leva em consideração (22 dias), conforme equação 27.

$$E_{consumida-mês} = E_{consumida} \times 22 \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Sendo possível estimar o custo mensal de energia do sistema de elevação, multiplicando a quantidade de energia consumida pelo valor da tarifa da CEB (anexo 1), conforme equação 28.

$$\text{Custo}_{Mensal} = E_{consumida-mês} \times 0,6198694 \quad [\text{R\$}] \quad (28)$$

### 5.1.2 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA REGENERADA

A quantidade de energia regenerada pode ser calculada de maneira similar à determinação da quantidade de energia consumida, também levando em consideração um balanço de energia potencial envolvendo o peso do contra peso (CP), o peso da cabina (CAB), a quantidade de passageiros (n), capacidade máxima de passageiros ( $n_{max}$ ), peso médio de um passageiro (P), o percurso médio ( $P_m$ ), a eficiência do sistema de regeneração ( $\eta_g$ ) e o tempo médio de cada viagem ( $T_m$ ). Com isso é possível calcular a potência elétrica necessária para o funcionamento do elevador de acordo com a quantidade de carga na subida e na descida variando a quantidade de passageiros.

É possível calcular a potência regenerada no processo de elevação de uma carga de acordo com o número de passageiros conforme equação 29.

$$Pot_{reg-subida} = \frac{[CP - (n \cdot P) - CAB] \cdot \eta_g}{T_m} \quad [\text{W}] \quad (29)$$

Como o peso do contra peso (CP) equivale à soma do peso da cabina (CAB) com a metade da capacidade de carga nominal, ou seja, metade do peso da quantidade total de passageiros que o elevador pode transportar ( $n_{máx}/2$ ), o elevador só regenera energia no processo de elevação quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for menor que a metade da capacidade de carga do elevador. Por exemplo, em um elevador capaz de transportar oito passageiros, haverá regeneração de energia quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for menor do que quatro, no processo de elevação.

Uma vez calculada a potência regenerada no processo de elevação de uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, é feita uma média ponderada com base no fluxo de passageiros para se obter a potência média regenerada durante a elevação de passageiros, conforme equação 30.

$$Pot_{reg-subida-media} = \sum_{n=0}^{n=n_{m\acute{a}x}/2} \frac{\Psi_n \cdot [CP - (n \cdot P) - CAB] \cdot \eta_g}{T_m \cdot \Psi} \quad [W] \quad (30)$$

Em que  $\Psi_n$  corresponde à quantidade de subidas realizadas com a ocupação correspondente ao valor de “n” e  $\Psi$  corresponde ao somatório total da quantidade de subidas realizadas pelo elevador, conforme a equação 31.

$$\Psi = \sum_{n=0}^{n=n_{m\acute{a}x}/2} \Psi_n \quad (31)$$

De maneira análoga é calculada a potência regenerada no processo descida uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, conforme equação 32.

$$Pot_{descida} = \frac{[(n \cdot P) + CAB - CP] \cdot \eta_g}{T_m} \quad [W] \quad (32)$$

Como o peso do contra peso (CP) equivale à soma do peso da cabina (CAB) com a metade da capacidade de carga nomina, ou seja, metade do peso da quantidade total de passageiros que o elevador pode transportar ( $n_{m\acute{a}x}/2$ ), o elevador só regenera energia no processo de descida quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for maior que a metade da capacidade de carga do elevador. Por exemplo, em um elevador capaz de transportar oito passageiros, haverá regeneração de energia quando a quantidade de passageiros na cabina (n) for maior do que quatro, no processo de descida.

Uma vez calculada a potência regenerada no processo de descida de uma carga de acordo com a quantidade de passageiros, é feita uma média ponderada com base no fluxo de passageiros para se obter a potência média utilizada durante a elevação de passageiros, conforme equação 33.

$$Pot_{reg-descida-media} = \sum_{n=n_{m\acute{a}x}/2}^{n=n_{m\acute{a}x}} \frac{\phi_n \cdot [(n \cdot P) + CAB + CP] \cdot \eta_g}{T_m \cdot \phi} \quad [W] \quad (33)$$

Em que  $\phi_n$  corresponde à quantidade de descidas realizadas com a ocupação correspondente ao valor de “n” e  $\phi$  corresponde ao somatório total da quantidade de descidas realizadas pelo elevador, conforme a equação 34.

$$\phi = \sum_{n=n_{m\acute{a}x}/2}^{n=n_{m\acute{a}x}} \phi_n \quad (34)$$



De posse das potências médias regeneradas de subida e descida e do fluxo de passageiros é possível estimar a quantidade de energia regenerada diariamente tendo em posse a quantidade de horas que o sistema funciona, conforme equação 35.

$$E_{regenerada} = \frac{(Pot_{reg-subida-media} + Pot_{reg-descida-media})}{1000} \times h \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

Com base na quantidade de energia regenerada diariamente, é possível estimar a quantidade de energia regenerada por mês, multiplicando-se a quantidade de energia regenerada diariamente pela quantidade de dias do mês que o estudo leva em consideração (22 dias), conforme equação 36.

$$E_{regenerada-mês} = E_{regenerada} \times 22 \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

Sendo possível estimar o benefício mensal do sistema de elevação, multiplicando a quantidade de energia consumida pelo valor da tarifa da CEB (anexo 1), conforme equação 37.

$$\text{Benefício}_{Mensal} = E_{regenerada-mês} \times 0,6198694 \quad [\text{R\$}] \quad (37)$$

## 5.2 ESTUDO DE CASO I – ÁGUAS CLARAS

O Estudo de caso aplicado em Águas Claras foi realizado no edifício Residencial Sevilha, figura 29, localizada na Rua 37 sul. O edifício possui dois blocos (A e B), cada bloco possuindo 14 pavimentos de apartamentos, com 6 apartamentos por andar, um andar de área de lazer e 3 andares de garagem, totalizando 18 pavimentos. O presente estudo abordou o sistema de elevação do bloco A.

O sistema de elevação do bloco A é composto por dois elevadores Atlas Schindler modelo Excell VVVF (figura 30), equipados com o drive inversor de frequência VVVF, com capacidade nominal de carga de 8 passageiros (figura 31).



**Figura 29 - Residencial Sevilha (Autor).**



**Figura 30 - Elevador Atlas Schindler do Residencial Sevilha (Autor).**



**Figura 31 - Capacidade de carga do elevador (Autor).**

Com base na norma NBR 5665 (1983) foi possível desenvolver o cálculo de tráfego do sistema de elevação do edifício com base nas características do edifício e do sistema de elevação, conforme tabela 13.

**Tabela 13 - Características do Sistema de Elevação do Residencial Sevilha.**

Número total de pavimentos	18
Número de Elevadores	2
Percurso Total (m)	56
Percurso Médio (m)	28
Número de Pessoas por Apartamento	5
Número Total de Pessoas	405
Velocidade Nominal (m/s)	1,50
Tempo de Aceleração e Retardo (s)	3,50
Tempo Médio (s)	21,67
Capacidade de Tráfego do Sistema	31

### 5.2.1 ANÁLISE DE FLUXO DE PASSAGEIROS

Para o desenvolvimento da análise do fluxo de passageiros foi feita a coleta de dados a partir do circuito de câmeras do edifício no dia três de outubro de 2016 levando em consideração os períodos de maior movimentação de passageiros devido ao movimento pendular dos habitantes de Águas Claras em relação ao Plano Piloto de Brasília - DF. Durante o período de seis às onze horas e das dezessete às vinte horas o fluxo de passageiros foi anotado com base no que foi visualizado nos monitores da portaria do prédio, totalizando um período total de análise de oito horas.

As tabelas 14 e 15 representam os fluxos de passageiros descendo e subindo, respectivamente, conforme os dados obtidos pela análise do circuito de câmeras do edifício no intervalo de tempo de oito horas.

**Tabela 14 - Fluxo de Passageiros descendo.**

Número de Passageiros/Horário	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
6-7h	18	3	2	2	0	0	0	0	38
7-8h	10	4	1	0	0	0	1	0	28
8-9h	16	4	3	0	0	0	0	0	33
9-10h	15	7	1	0	0	0	0	0	32
10-11h	12	2	0	0	0	0	0	0	16
17-18h	8	2	0	0	0	0	0	0	12
18-19	12	5	1	0	0	0	0	0	25
19-20	18	4	0	1	0	0	0	0	30

**Tabela 15 - Fluxo de Passageiros subindo.**

Número de Passageiros/Horário	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
6-7h	5	0	0	0	0	0	0	0	5
7-8h	14	0	0	0	0	0	0	0	14
8-9h	11	0	0	0	0	0	0	0	11
9-10h	15	1	0	0	0	0	0	0	17
10-11h	5	2	1	0	0	0	0	0	12
17-18h	10	2	0	0	0	0	0	0	14
18-19	18	4	2	0	0	0	0	0	32
19-20	29	3	4	0	1	0	0	0	52

A tabela 16 representa a quantidade de viagens efetuadas no período de tempo analisado em função da ocupação de passageiros na cabina, nesta tabela podemos observar que a maioria das viagens são efetuadas com carga inferior a 50 % da capacidade nominal de carga do

elevador (8 passageiros), sendo a maior parte das viagens com ocupação de apenas um passageiro.

**Tabela 16 - Ocupação de Passageiros na Cabina.**

Ocupação	Viagens (Subindo)	Viagens (Descendo)
1	107	109
2	12	31
3	7	8
4	0	3
5	1	0
6	0	0
7	0	1
8	0	0

Uma vez que a maioria das viagens é realizada com ocupação inferior à metade da carga nominal do elevador (8 passageiros) e que o elevador sempre percorre o percurso médio em vazio para atender o chamado dos passageiros, tanto para a subida quanto para a descida. Sendo assim, a maior quantidade de energia regenerada deverá ocorrer ao longo da manhã, período em que a quantidade de subidas com o elevador vazio é maior para atender a maior demanda por descida de passageiros, conforme tabela 14. Já o maior consumo de energia deverá ocorrer ao longo da noite, uma vez que a quantidade de descida em vazio é maior para atender ao maior fluxo de passageiros subindo, conforme tabela 15.

### **5.2.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS E RESULTADOS**

Uma vez feita a análise do fluxo de passageiros no edifício, foi feita a estimativa da quantidade de energia consumida e da quantidade potencial de energia regenerada. Para tanto, o fluxo de passageiros foi utilizado como entrada do programa em MATLAB desenvolvido para auxiliar nesse cálculo, anexo 3.

Os dados da tabela 16 foram utilizados como entrada para o cálculo das potências médias do motor na subida e na descida e das potências médias do regenerador na subida e na descida a partir das equações 22, 23, 29 e 33, respectivamente, obtendo-se os resultados presentes na tabela 17.

**Tabela 17 - Potências Médias do Sistema de Elevação.**

	Subida	Descida
Potência Média do Motor [kW]	6,20	4,04
Potência Média do Regenerador [kW]	1,55	2,24

A partir do cálculo das potências médias do motor para subida e para descida foi possível obter a estimativa da quantidade de energia consumida durante o dia a partir da equação 26, em seguida a equação 27 foi utilizada para a estimativa do consumo mensal e, por último, a equação 28 foi utilizada para a estimativa do custo mensal de operação do sistema de elevação, conforme tabela 18.

**Tabela 18 - Consumo de Energia.**

Consumo Diário [kWh]	82,08
Consumo mensal [kWh]	1804,60
Custo Mensal [R\$]	1118,60

Já a partir do cálculo das potências médias do regenerador para subida e para descida foi possível obter a estimativa da quantidade de energia regenerada durante o dia a partir da equação 35, em seguida a equação 36 foi utilizada para a estimativa do consumo mensal, após isso a equação 37 foi utilizada para a estimativa do custo mensal de operação do sistema de elevação e, por ultimo, foi feito o cálculo do percentual de energia regenerada, dividindo-se a quantidade de energia consumida pela quantidade de energia regenerada, conforme tabela 19.

**Tabela 19 - Potencial de Energia Regenerada.**

Regeneração Diária [kWh]	30,30
Regeneração Mensal [kWh]	666,51
Benefício Mensal [R\$]	413,15
Percentual de Energia Regenerada [%]	36,93

Uma vez que o drive regenerativo regenera energia, elimina as distorções harmônicas provocadas no processo de regeneração e devolve essa energia para a rede do condomínio, não é necessária a instalação de um sistema de armazenamento de energia. Sendo assim, a quantidade de energia regenerada pode ser utilizada pelo condomínio livremente, podendo essa ser aplicada para a iluminação (acionamento de até 69 lâmpadas de 40 W por 8 horas

diárias no período de 1 mês), para a redução do consumo de energia do elevador (em torno de 36,93 %), ou para o acionamento das bombas d'água do edifício.

### **5.3 ESTUDO DE CASO II – ASA NORTE**

O Estudo de caso aplicado na Asa Norte foi realizado no edifício Anísio Teixeira, figura 32, localizada na 212 Norte, bloco D. O edifício possui três prumadas, cada prumada com 6 pavimentos de 4 apartamentos por pavimento e uma garagem subterrânea. Para atender os moradores, o sistema de elevação de cada prumada é composto por dois elevadores, um de serviço e outro social, sendo analisado apenas o elevador social devido ao maior fluxo de passageiros.



**Figura 32 - Edifício Anísio Teixeira (Autor).**

Os elevadores utilizados no edifício são do modelo CVF da fabricante OTIS, já possuindo um inversor de frequência do tipo VVVF para auxiliar na partida e parada dos elevadores, cada elevador tem uma capacidade nominal de carga de 6 passageiros, conforme figuras 33 e 34.



**Figura 33 – Hall Social do EDF Anísio Teixeira (Autor).**



**Figura 34 - Painei do Elevador Social do EDF Anísio Teixeira (Autor).**

Com base na norma NBR 5665 (1983) foi possível desenvolver o cálculo de tráfego do sistema de elevação do edifício com base nas características do edifício e do sistema de elevação, conforme tabela 20.



**Tabela 20 - Características do Sistema de Elevação do Edifício Anísio Teixeira.**

Número total de pavimentos	8
Número de Elevadores	2
Percurso Total (m)	23
Percurso Médio (m)	11,5
Número de Pessoas por Apartamento	5
Número Total de Pessoas	110
Velocidade Nominal (m/s)	1,0
Tempo de Aceleração e Retardo (s)	3,0
Tempo Médio (s)	14,5
Capacidade de Tráfego do Sistema	36

### **5.3.1 ANÁLISE DE FLUXO DE PASSAGEIROS**

Para o desenvolvimento da análise do fluxo de passageiros foi feita a coleta de dados a partir do circuito de câmeras do edifício com o auxílio do porteiro do edifício durante sete dias úteis entre 17 e 25 de outubro, levando em consideração os períodos de maior movimentação de passageiros. Durante o período de seis às nove horas e das dezessete às vinte horas o fluxo de passageiros foi anotado com base no que foi visualizado nos monitores da portaria do prédio, totalizando um período total de análise de seis horas.

As tabelas 21 e 22 representam os fluxos de passageiros descendo e subindo, respectivamente, conforme os dados obtidos pela análise do circuito de câmeras do edifício no intervalo de tempo de seis horas, para tanto foi realizada a média da quantidade de passageiros com base na coleta de dados realizada nos sete dias úteis.

**Tabela 21 - Fluxo de Passageiros descendo.**

Passageiros	06-09	17-20	Total
1	56	10	66
2	10	4	14
3	5	3	8
4	2	1	3
5	0	1	1
6	0	0	0

**Tabela 22 - Fluxo de Passageiros subindo.**

Passageiros	06-09	17-20	Total
1	12	34	46
2	4	9	13
3	3	4	7
4	2	2	4
5	0	0	0
6	0	0	0

A tabela 23 representa a quantidade de viagens efetuadas no período de tempo analisado em função da ocupação de passageiros na cabina, nesta tabela podemos observar que a maioria das viagens são efetuadas com carga inferior a 50 % da capacidade nominal de carga do elevador (6 passageiros), sendo a maior parte das viagens com ocupação de apenas um passageiro.

**Tabela 23 - Ocupação de Passageiros na Cabina.**

Ocupação	Viagens Subindo	Viagens Descendo
1	46	66
2	13	14
3	7	8
4	4	3
5	0	1
6	0	0

Uma vez que a maioria das viagens é realizada com ocupação inferior à metade da carga nominal do elevador (6 passageiros) e que o elevador sempre percorre o percurso médio em vazio para atender o chamado dos passageiros, tanto para a subida quanto para a descida. Sendo assim, a maior quantidade de energia regenerada deverá ocorrer ao longo da manhã, período em que a quantidade de subidas com o elevador vazio é maior para atender a maior demanda por descida de passageiros, conforme tabela 21. Já o maior consumo de energia deverá ocorrer ao longo da noite, uma vez que a quantidade de descida em vazio é maior para atender ao maior fluxo de passageiros subindo, conforme tabela 22.

### 5.3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS E RESULTADOS

Uma vez feita a análise do fluxo de passageiros no edifício, foi feita a estimativa da quantidade de energia consumida e da quantidade potencial de energia regenerada. Para tanto, o fluxo de passageiros foi utilizado como entrada do programa em MATLAB desenvolvido para auxiliar nesse cálculo, anexo 4.

Os dados da tabela 23 foram utilizados como entrada para o cálculo das potências médias do motor na subida e na descida e das potências médias do regenerador na subida e na descida a partir das equações 21, 23, 29 e 33, respectivamente, obtendo-se os resultados presentes na tabela 24.

**Tabela 24 - Potências Médias do Sistema de Elevação.**

	Subida	Descida
Potência Média do Motor [kW]	2,91	1,51
Potência Média do Regenerador [kW]	0,50	1,05

A partir do cálculo das potências médias do motor para subida e para descida foi possível obter a estimativa da quantidade de energia consumida durante o dia a partir da equação 26, em seguida a equação 27 foi utilizada para a estimativa do consumo mensal e, por ultimo, a equação 28 foi utilizada para a estimativa do custo mensal de operação do sistema de elevação, conforme tabela 25.

**Tabela 25 - Consumo de Energia.**

Consumo Diário [kWh]	26,58
Consumo mensal [kWh]	584,67
Custo Mensal [R\$]	362,41

Já a partir do cálculo das potências médias do regenerador para subida e para descida foi possível obter a estimativa da quantidade de energia regenerada durante o dia a partir da equação 35, em seguida a equação 36 foi utilizada para a estimativa do consumo mensal, após isso a equação 37 foi utilizada para a estimativa do custo mensal de operação do sistema de elevação e, por ultimo, foi feito o cálculo do percentual de energia regenerada, dividindo-se a quantidade de energia consumida pela quantidade de energia regenerada, conforme tabela 26.

**Tabela 26 - Potencial de Energia Regenerada.**

Regeneração Diária [kWh]	9,35
Regeneração Mensal [kWh]	205,83
Benefício Mensal [R\$]	127,59
Percentual de Energia Regenerada [%]	35,20

Uma vez que o drive regenerativo regenera energia, elimina as distorções harmônicas provocadas no processo de regeneração e devolve essa energia para a rede do condomínio, não é necessária a instalação de um sistema de armazenamento de energia. Sendo assim, a quantidade de energia regenerada pode ser utilizada pelo condomínio livremente, podendo essa ser aplicada para a iluminação (acionamento de até 21 lâmpadas de 40 W por 8 horas diárias), para a redução do consumo de energia do elevador (em torno de 35,20 %), ou para o acionamento das bombas d'água do edifício.

#### **5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO**

Ao analisar os resultados do estudo de caso aplicado no Residencial Sevilha e no Edifício Anísio Teixeira, observa-se que a maior potencial de regeneração ocorre no prédio com o maior número de pavimentos e de passageiros, uma vez que quanto maior a quantidade de viagens e maior o percurso percorrido pelo elevador, maior será a quantidade de energia regenerada, conforme tabela 27. Sendo assim, a aplicação de um sistema de regeneração de energia se torna tão mais interessante, quanto maior for o prédio e maior for a população atendida.

**Tabela 27 - Resultados do Estudos de Caso.**

	Residencial Sevilha	Edf Anísio Teixeira
Consumo [kWh/mês]	1804,60	584,67
Potencial de Regeneração [kWh/mês]	666,51	205,83
Percentual de Energia Regenerada [%]	36,93	35,20

Outra observação que é possível realizar a partir da tabela 27 é em relação ao percentual de energia regenerada. Observa-se que o percentual de energia regenerada no Residencial Sevilha é maior do que no Edifício Anísio Teixeira. Isso ocorre, pois o elevador do

Residencial Sevilha tem uma capacidade de carga nominal maior (8 passageiros) do que a do elevador do Edifício Anísio Teixeira (6 passageiros), o que favorece a regeneração, uma vez que o contrapeso do elevador com maior carga nominal é mais pesado, aumentando a elasticidade da carga de regeneração, ou seja, quanto maior for a capacidade nominal de carga do elevador, menor é o impacto da carga para a regeneração.

Outro ponto que se pode levantar é em relação à distribuição do fluxo de passageiros. Ao se comparar o percentual da quantidade de energia regenerada no estudo de caso aplicado ao Residencial Sevilha e ao Edifício Anísio Teixeira com o estudo preliminar, fica nítido o impacto do fluxo de passageiros na regeneração. Enquanto no estudo preliminar fez-se uma análise do potencial de regeneração de um sistema de elevação em condições limites, evidenciando a eficiência do regenerador, nos dois estudos de caso fez-se uma análise levando em conta o fluxo médio de passageiros ao longo do dia, observando-se que em maior parte do tempo os elevadores são utilizados com cargas inferiores a 4 passageiros, o que diminui bastante o percentual de regeneração se comparado com um sistema em condições limites de funcionamento, com o fluxo máximo de passageiros, conforme tabela 28.

**Tabela 28 - Percentual de Energia Regenerada.**

Estudo Preliminar	Residencial Sevilha	Edf Anísio Teixeira
58,78 %	36,93 %	35,20 %

Diante da análise do impacto do fluxo de passageiros no percentual de regeneração, é possível afirmar que quanto mais próximo for o fluxo de passageiros da condição limite de operação do sistema de elevação, com fluxo máximo, maior será o percentual de regeneração do sistema. No entanto, em se tratando de prédio residencial, é difícil de estabelecer um controle de tráfego nesse sentido, uma vez que há uma variação nos horários dos moradores do prédio.

## 6 ANÁLISE ECONÔMICA

### 6.1 METODOLOGIA APLICADA À ANÁLISE ECONÔMICA

Uma vez realizado o estudo de caso, obteve-se a determinação da quantidade potencial de energia regenerada por um sistema de regeneração, bem como o seu benefício mensal. Sendo assim, é possível realizar uma análise econômica para atestar a viabilidade da instalação de um sistema de regeneração. Para tanto, a análise econômica foi realizada seguindo os seguintes passos:

- Levantamento dos custos de instalação e manutenção do sistema de regeneração;
- Levantamento do tempo de vida útil do sistema de regeneração de energia;
- Análise de Custo Benefício;
- Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL);
- Cálculo do Payback.

Os custos de instalação e manutenção, bem como o tempo de vida útil do sistema de regeneração foram levantados junto às empresas responsáveis pela fabricação de tais elevadores. Uma vez que cada fabricante tem a sua tecnologia própria de drive regenerativo, apesar de a eficiência de ambos serem aproximadamente iguais e o tempo de vida útil do sistema de regeneração ser de 15 anos para ambos, conforme informações fornecidas pelas fabricantes.

A análise de Custo Benefício é realizada para verificar o somatório dos benefícios de um investimento mediante ao somatório dos custos ao longo do tempo (BALBINOTTO, 2011). Sendo assim, é necessário calcular o somatório dos benefícios e o somatório dos custos, conforme as equações 38 e 39, respectivamente.

$$B = \sum_{t=0}^T \frac{b_t \cdot (1+j)^t}{(1+i)^t} \quad [\text{R\$}] \quad (38)$$

$$C = \sum_{t=0}^T \frac{c_t}{(1+i)^t} \quad [\text{R\$}] \quad (39)$$

Em que,  $B$  é o benefício total,  $C$  é o custo total,  $t$  é o tempo,  $T$  é o tempo de vida útil,  $b_t$  é o benefício em função do tempo,  $c_t$  é o custo em função do tempo,  $j$  é o reajuste tarifário anual [RTA] da CEB e  $i$  é a taxa de juros do investimento.

O reajuste tarifário anual [RTA] é de difícil previsão, uma vez que este é feito a partir de um cálculo regulamentado pela ANEEL em que se têm duas parcelas: a parcela A está ligada aos custos de distribuição de energia relacionados à compra de energia pela concessionária, indiretamente relacionado com o regime climático, já a parcela B está relacionada com o índice de correção da inflação do contrato de concessão (IGP-M ou IPCA) reduzido de um fator X, relacionado à produtividade em favor da modicidade tarifária em cada reajuste (ANEEL, 2016). A figura 35 apresenta como se dá o presente cálculo.



**Figura 35 - Cálculo da RTA (ANEEL, 2016).**

Tendo em vista a dificuldade da determinação do reajuste tarifário anual da CEB devido às incertezas associadas à parcela A e ao fator X, fez-se uma média do valor do reajuste tarifário anual da CEB entre os anos de 2004 e 2014, conforme tabela 29, obtendo um valor médio do reajuste tarifário anual de 4,32 %.

**Tabela 29 - Reajuste Tarifário Anual (CEB, 2015)**

ANO	REAJUSTE TARIFÁRIO
2014	17,12%
2013	7,64%
2012	2,78%
2011	8,15%
2010	10,79%
2009	9,52%
2008	-7,30%
2007	-3,22%
2006	-1,59%
2005	1,23%
2004	2,44%

Para a determinação da taxa de juros do investimento, fez-se uma análise de custo de oportunidade. Levando em consideração que o investimento no sistema de regeneração tem

um risco muito baixo e que esses recursos têm como maior custo de oportunidade o rendimento da caderneta de poupança, uma vez que os recursos de um condomínio geralmente ficam guardados em uma poupança para eventuais obras de reparo ou modernização, utilizou-se o acumulado de 12 meses do rendimento da caderneta de poupança como taxa de juros anuais do investimento ( $i = 8,348\%$  a.a), conforme tabela 30.

**Tabela 30 - Rendimento de Poupança Acumulado de 2016 (PORTALBRASIL, 2016).**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2016	0,7261	0,6327	0,5962	0,7179	0,6311	0,6541	0,7053	0,6629	0,7558	0,6583	0,6609	0,6435
ACUMULADO	0,7261	1,3634	1,9677	2,6997	3,3479	4,0239	4,7576	5,4520	6,2490	6,9484	7,6553	8,3480

Obtendo-se os valores do Benefício e do Custo, é possível fazer a análise de custo benefício dividindo-se o somatório dos benefícios pelo somatório dos custos, conforme equação 40.

$$BC = \frac{B}{C} \quad (40)$$

Em que  $BC$  representa a relação de benefício por custo. Logo, para investimentos com  $BC$  maior do que 1 tem-se viabilidade, já para investimentos com  $BC$  menor do que 1 não há viabilidade.

Uma vez feita a análise de custo benefício, é feita uma análise de Valor Presente Líquido (VPL) para se observar o lucro líquido do investimento. Para tanto o somatório dos benefícios é diminuído do somatório dos custos, conforme equação 41.

$$VPL = B - C \quad [R\$] \quad (41)$$

Por último é observado o Payback, ou seja, o tempo mínimo para que o investimento comece a ser lucrativo através da análise gráfica da progressão do custo benefício com o tempo.

Para o auxílio do desenvolvimento das análises econômicas foi feita uma rotina de cálculo no programa MATLAB. Nessa rotina de cálculo têm-se como entrada os custos, o benefício anual, as taxas de juros e de reajuste tarifário anual, gerando como saída a relação benefício por custo ( $BC$ ), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Payback em anos.



## 6.2 ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA AO RESIDENCIAL SEVILHA

Uma vez estimado o benefício mensal do sistema de regeneração através do estudo de caso, entrou-se em contato com a Atlas Schindler para a seleção do drive regenerativo adequado ao elevador Atlas Schindler Excell VVVF. Durante visita à empresa, realizada no dia 11 de novembro de 2016, um consultor técnico esclareceu que, para esse modelo de elevador, deveria ser utilizado um drive regenerativo do modelo Power Factor One (conhecido no Brasil como PF1), conforme figura 36.



**Figura 36 - Drive Regenerativo PF1 (SCHINDLER).**

Na tentativa de se obter uma estimativa dos custos totais de instalação e manutenção do drive regenerativo no sistema de elevação (2 elevadores), foi solicitado um orçamento à empresa. No entanto, a empresa respondeu que a empresa não fornece orçamento sem solicitação via Ordem de Serviço, fornecendo apenas o custo médio de instalação do equipamento, de R\$ 35.000,00. Quanto ao custo médio de manutenção, a empresa informou que não há alteração no valor do contrato de manutenção que cada condomínio tem com a fabricante dos

elevadores, uma vez que é feito um plano de manutenção mensal para o sistema de elevação como um todo. Foi esclarecido, também, que o tempo médio de vida útil de um drive regenerativo é de em torno de 15 anos, prazo em que normalmente os elevadores passam por modernizações.

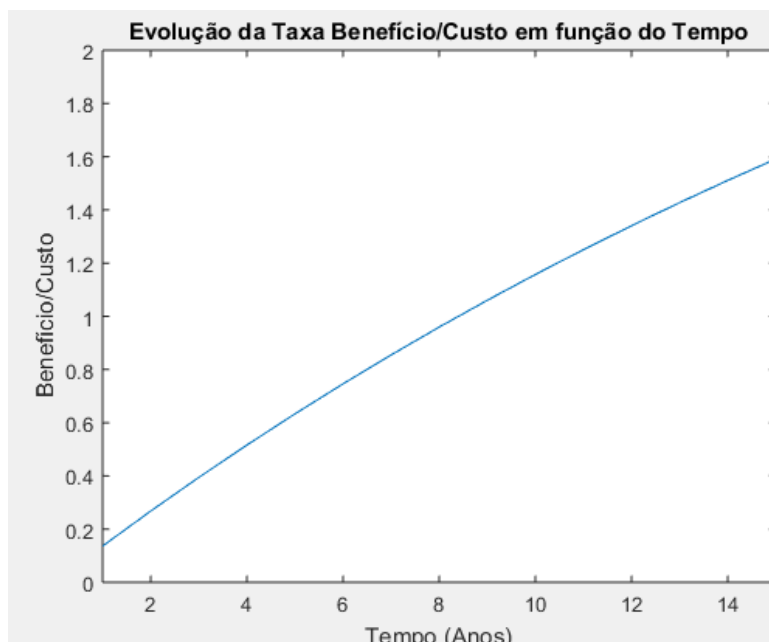
Sendo assim, há apenas um custo inicial de instalação dos equipamentos, de R\$ 35.000,00. Valor que foi utilizado para a análise econômica junto ao valor do benefício mensal, de R\$ 413,15. O tempo total da análise foi de 15 anos, tempo de vida útil do drive regenerativo. As taxas de reajuste tarifário anual e de rendimento anual da caderneta de poupança foram fixadas, conforme o item 6.1 desse presente trabalho, em 4,32 % e 8,348%. Esses parâmetros foram utilizados como entrada do programa em MATLAB desenvolvido para a análise econômica, anexo 6.

Com o processamento dos dados obteve-se os resultados expostos na tabela 31.

**Tabela 31 - Análise Econômica Residencial Sevilha.**

Custo [R\$]	35.000,00
Rendimento de Poupança [%]	8,348
Revisão Tarifária Anual [%]	4,32
Tempo [Anos]	15
Benefício Mensal [R\$]	413,15
BC	1,59
VPL [R\$]	20.692,00
Payback [Anos]	9

Como se pode observar na tabela 31, o investimento em drive regenerativo para o sistema de elevação do Residencial Sevilha é viável para o condomínio. A relação benefício/custo atesta a sua viabilidade, uma vez que o valor de tal relação é de 1,59, que corresponde a um Valor Presente Líquido (lucro descontando a taxa de rendimento da caderneta de poupança) de R\$ 20.692,00. O Payback (Benefício/Custo=1), avaliado pelo gráfico da figura 37, é de 9 anos, período em que o lucro do investimento corresponde ao custo, daí em diante, próximos 6 anos, o investimento passa a dar lucro líquido.



**Figura 37 - Benefício/Custo vs Tempo.**

### **6.3 ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA AO EDIFÍCIO ANÍSIO TEIXEIRA**

Uma vez estimado o benefício mensal do sistema de regeneração através do estudo de caso, entrou-se em contato com a Otis para a seleção do drive regenerativo adequado ao elevador Otis CVF. Durante contato realizado no dia 14 de novembro de 2016, um consultor esclareceu que, para esse modelo de elevador, o modelo de drive regenerativo adequado seria o Otis ReGen OVF 10, conforme figura 38.



**Figura 38 - Drive Regenerativo ReGen OVF 10 (Otis, 2016).**

Na tentativa de se obter uma estimativa dos custos totais de instalação e manutenção do drive regenerativo no elevador social do Edifício Anísio Teixeira, foi solicitado um orçamento à empresa. No entanto, a Otis também respondeu que a empresa não fornece orçamento sem solicitação via Ordem de Serviço, fornecendo apenas o custo médio de instalação do equipamento, de R\$ 12.000,00. Quanto ao custo médio de manutenção, a Otis também informou que não há alteração no valor do contrato de manutenção que cada condomínio tem com a fabricante dos elevadores, uma vez que é feito um plano de manutenção mensal para o sistema de elevação como um todo. Foi esclarecido, também, que o tempo médio de vida útil de um drive regenerativo da Otis também é de em torno de 15 anos, prazo em que normalmente os elevadores passam por modernizações.

Sendo assim, há apenas um custo inicial de instalação dos equipamentos, de R\$ 12.000,00. Valor que foi utilizado para a análise econômica junto ao valor do benefício mensal, de R\$ 127,59. O tempo total da análise foi de 15 anos, tempo de vida útil do drive regenerativo. As taxas de reajuste tarifário anual e de rendimento anual da caderneta de poupança foram fixadas, conforme o item 6.1 desse presente trabalho, em 4,32 % e 8,348%. Esses parâmetros foram utilizados como entrada do programa em MATLAB desenvolvido para a análise econômica, anexo 6.

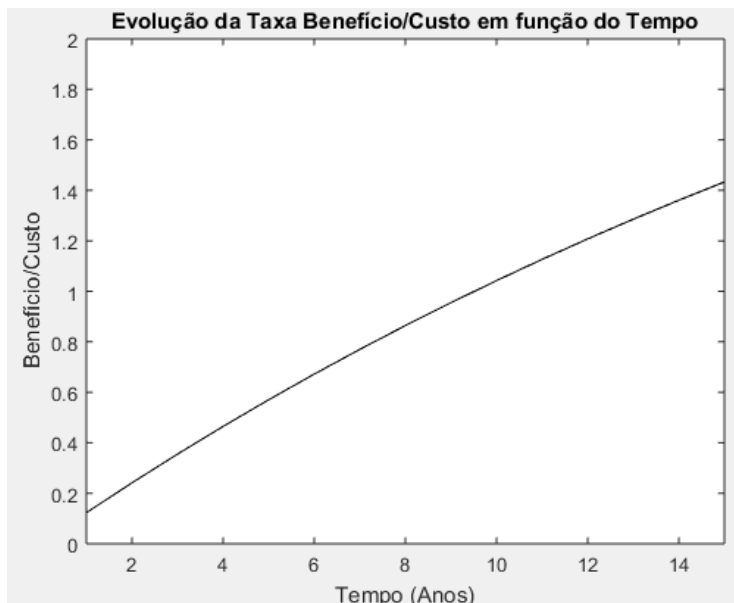
Com o processamento dos dados obteve-se os resultados expostos na tabela 32.

**Tabela 32 - Análise Econômica Edf. Anísio Teixeira.**

Análise Econômica: Edf. Anísio Teixeira	
Custo [R\$]	12.000,00
Rendimento de Poupança [%]	8,348
Revisão Tarifária Anual [%]	4,32
Tempo [Anos]	15
Benefício Mensal [R\$]	127,59
BC	1,43
VPL [R\$]	5.198,80
Payback [Anos]	10

Como se pode observar na tabela 32, o investimento em drive regenerativo para o sistema de elevação do Residencial Sevilha é viável para o condomínio. A relação benefício/custo atesta a sua viabilidade, uma vez que o valor de tal relação é de 1,43, que corresponde a um Valor Presente Líquido (lucro descontando a taxa de rendimento da caderneta de poupança) de R\$ 5.198,80. O Payback (Benefício/Custo=1), avaliado pelo gráfico da Figura 39, é de 10 anos,

período em que o lucro do investimento corresponde ao custo, daí em diante, próximos 5 anos, o investimento passa a dar lucro líquido.



**Figura 39 - Benefício/Custo vs Tempo.**

## 6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme se pode observar ao longo do desenvolvimento da análise econômica, para ambos os prédios é viável a instalação do sistema de regeneração nos seus elevadores. O que fica evidenciado na elevada relação de Benefício/Custo, nos resultados de VPL e no Payback. Sendo assim, investir em regeneração de energia não é apenas uma atividade de consciência ambiental, também é lucrativo e vantajoso para os condomínios em questão, lembrando que essas análises econômicas foram realizadas levando em conta o custo de oportunidade do rendimento da caderneta de poupança.

Um ponto que pode ser observado é que a regeneração ajuda a “proteger” o condomínio dos reajustes tarifários anuais, uma vez que diminuindo o consumo de energia do prédio, diminui-se o impacto do reajuste na tarifa de energia.

Comparando-se o desempenho que os dois prédios obtiveram, fica nítido que quanto mais alto e mais movimentado for o prédio, maior será a quantidade de energia regenerada, maior será a relação Benefício/Custo, maior será o Valor Presente Líquido, menor será o tempo de Payback e, por conseguinte, mais atrativo será o investimento em regeneração de energia.

## **7 CONCLUSÃO**

### **7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o desenvolvimento do presente trabalho, observou que a regeneração de energia é uma nova tendência para a diminuição do consumo de energia em elevadores. Apesar de ser uma tecnologia nova e ainda pouco utilizada, foi possível observar pelos estudos de casos aplicados nesse trabalho que esta tecnologia tem um grande potencial de diminuição do consumo de energia, implicando em, aproximadamente, 36% de redução do consumo de energia em elevadores.

Ao se analisar os resultados da análise económica, é possível concluir que esse tipo de tecnologia é viável para determinados edifícios. No entanto, é necessária a aplicação da metodologia desenvolvida no presente trabalho para se estimar a quantidade de energia consumida e regenerada e fazer uma análise de viabilidade da instalação do sistema de regeneração, uma vez que cada edifício tem suas características construtivas e de fluxo de passageiros, que alteram a viabilidade da implantação do sistema.

Por ultimo, observou-se que quanto mais alto e movimentado for o edifício, mais vantajoso será o investimento em um sistema de regeneração, o que permite estimar que essa tecnologia pode ser aplicada em edifícios comerciais, gerando bons resultados, sendo necessária uma análise mais aprofunda, utilizando esta metodologia, para se observar a viabilidade da instalação do sistema de regeneração em edifícios comerciais.

### **7.2 TRABALHOS FUTUROS**

Para a melhoria da estimativa da quantidade de energia consumida e da quantidade potencial de energia regenerada é possível realizar as seguintes tarefas:

- Realizar um estudo em um prédio que já conta com um sistema de regeneração instalado e compará-lo a um prédio similar sem o equipamento.
- Utilizar de um analisador de corrente para aferir a quantidade exata de energia consumida;

- Instalar de uma célula de carga, entre o cabo de sustentação do elevador e o elevador, para obter uma maior precisão da distribuição de carga (quantidade de passageiros);
- Estender o período da análise para um dia completo e incluir os finais de semana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABB. **REDUZINDO O CONSUMO DE ENERGIA DAS LINHAS FERROVIÁRIAS EM 10%.** 2016. Disponível em: <http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/7b354f1b2281f66683257a6800477ccc.aspx>. Revisitado em 10/05/2016.
- ABESCO, Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia. **DESPERDÍCIO DE ENERGIA GERA PERDA DE R\$ 12,6 BILHÕES.** Outubro de 2015. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-gera-perdas-de-r-126-bilhoes/>. Revisitado em 10/05/2016.
- ABRAMS, M. **STOPPING POWER.** ASME, janeiro de 2012. Disponível em: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/automotive-design/stopping-power>. Revisitado em 15/05/2016.
- ANDRADE, R. V.; LORA, E. E. S.; DUPAS, F. A. **RECURSOS NATURAIS, DEMOGRAFIA E DESENVOLVIMENTO: UMA ANALISE BASEADA NO RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO 2001 DA ONU.** Universidade Federal de Itajubá, 2002. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200048&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200048&script=sci_arttext). Revisitado em 10/05/2016.
- ANEEL. **REAJUSTE TARIFÁRIO.** Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset\\_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/reajuste-tarifario-anual/654800?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/reajuste-tarifario-anual/654800?inheritRedirect=false). Revisitado em 19/11/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 196: ELEVADORES DE PASSAGEIROS E MOTA CARGAS – GUIAS PARA CARROS E CONTRAPESOS.** Montevidéu – Uruguai, dezembro de 1999. Revisitado em 13/06/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – NM 207: ELEVADORES ELÉTRICOS DE PASSAGEIROS – REQUISITOS DE SEGURANÇA PARA CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO.** Rio de Janeiro – RJ, novembro de 1999. Revisitado em 13/06/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5665: CÁLCULO DE TRÁFEGO NOS ELEVADORES.** Rio de Janeiro – RJ, abril de 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5666: ELEVADORES ELÉTRICOS.** Rio de Janeiro – RJ, dezembro de 1977. Revisitado em 13/06/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10982: ELEVADORES ELÉTRICOS – DISPOSITIVOS DE OPERAÇÃO E SINALIZAÇÃO.** Rio de Janeiro – RJ, abril de 1990. Revisitado em 13/06/2016.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13994: ELEVADORES PARA TRANSPORTE DE PESSOA PORTADORA DE DEFICIÊNCIA.** Rio de Janeiro – RJ, maio de 2000. Revisitado em 13/06/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16042: ELEVADORES DE PASSAGEIROS – REQUISITOS DE SEGURANÇA PARA A CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DE ELEVADORES SEM CASAS DE MÁQUINAS.** Rio de Janeiro – RJ, abril de 2012. Revisitado em 13/06/2016.

AUTORACING. **F1 – COMO FUNCIONA O KERS.** Revista eletrônica Autoracing, novembro de 2010. Disponível em: < <http://www.autoracing.com.br/f1-como-funciona-o-kers/>>. Revisitado em 09/06/2016.

BAÚ, P. C. F. **FRENAGEM REGENERATIVA.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2011. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/65616/000864720.pdf?sequence=1>>. Revisitado em 09/06/2016.

BEN. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL.** 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Revisitado em 10/05/2016.

BRINO, A. C. **BRASÍLIA: SUPERQUADRAS RESIDENCIAIS.** Faculdade de Arquitetura-UFRGS, 30 de outubro de 2003. Disponível em: <<http://www.docomomo.org.br/seminario%205%20pdfs/006R.pdf>>. Revisitado em 13/06/2016.

CEB. **TARIFAS: SISTEMA DE BANDEIRA TARIFÁRIA.** Companhia Elétrica de Brasília – CEB, 2015. Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/tarifas>>. Revisitado em 19/11/2016.

DUGONSKI, C.; ZOSCHKE, L, M. **ESTUDO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA ARMazenada Na FRENAGEM REGENERATIVA ELÉTRICA EM ELEVADORES.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2011. Disponível em: < [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/334/1/CT\\_COELE\\_2011\\_2\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/334/1/CT_COELE_2011_2_12.pdf)>. Revisitado em 09/06/2016.

JULIFER. Disponível em: < [http://www.julifer.com.br/images/produtos/pecas\\_motores.jpg](http://www.julifer.com.br/images/produtos/pecas_motores.jpg)>. Revisitado em 09/06/2016.

LEONESSA, R. **CURSO À DISTÂNCIA EM MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES.** Londrina – PR. Disponível em: <<http://creaweb.crea-pr.org.br/pro-crea/arquivosAula/curso54/modulo3/fontepesquisa/apostila2.pdf>>. Revisitado em 09/06/2016.

MATSUDO, S. **ESTUDO DE ECONOMIA DE ENERGIA EM TRENS E LOCOMOTIVAS.** National Instruments – NI DAYS 2013, abril de 2013. Disponível em: <[ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/brazil/nidays\\_brasil\\_2013/automotivo/alstom\\_aquisicao\\_de\\_dados\\_para\\_estudo\\_de\\_economia\\_de\\_energia.pdf](ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/brazil/nidays_brasil_2013/automotivo/alstom_aquisicao_de_dados_para_estudo_de_economia_de_energia.pdf)>. Revisitado em 09/06/2016.

BALBINOTTO, G. **ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO: AULA 5**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre – RS, 2011. Disponível em: <<http://www.ppge.ufrgs.br/giacomo/arquivos/finpub/aula7.pdf>>. Revisitado em 19/11/2016.

OLIVEIRA, L. H. S.; LAROCCHA, A. P. C. **CONTROLE DA DEMANDA PARA MELHOR APROVEITAMENTO DA FRENAGEM REGENERATIVA DE TRENS**. Departamento de Engenharia de Transportes – USP, abril de 2013. Disponível em: <[http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/4\\_RIC.pdf](http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/4_RIC.pdf)>. Revisitado em 09/06/2016.

OLIVEIRA, R. A. H. **SISTEMA DE FRENAGEM REGENERATIVA COM MOTOR DE INDUÇÃO LINEAR DO VEÍCULO MAGLEV-COBRA**. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, agosto de 2013. Disponível em: <<http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2013082901.pdf>>. Revisitado em 05/06/2016.

PEREIRA, P. C. R.; SANTOS, J. B. **ESTUDO PARA MODERNIZAÇÃO DE ELEVADORES**. FOX Engenharia e Consultoria, Brasília – DF, julho de 2010. Disponível em: <<https://www.brb.com.br/novo-site/sobre-brb/licitacoes/CP2011001-Anexo%202%20-%20Estudo%20para%20Moderniza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Elevadores.pdf>>. Revisitado em 13/06/2016.

PINHEIRO, H. **MOTORES TRIFÁSICOS DE CA**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia. Mossoró – RN, 2007. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca>>. Revisitado em 05/06/2016.

PORTALBRASIL. **CADERNETA DE POUPANÇA: ÍNDICES MENSAIS**. Portal Brasil, 2016. Disponível em: <[http://www.portalbrasil.net/poupanca\\_mensal.htm](http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm)>. Revisitado em 19/11/2016.

ROCHA, B. P.; ALBERTON, H. B. S.; OLIVEIRA, L. B. **FRENAGEM REGENERATIVA**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/projenergia3/projetos/trabalhos-2014/trabalhos-2014-2/GRUPOB.pdf>>. 09/06/2016.

ROCHA, G. **KERS – KINECT ENERGY RECOVERY SYSTEMS**. Infomotor, abril de 2009. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/04/kers-kinetic-energy-recovery-systems/>>. Revisitado em 04/06/2016.

RUDENKO, N. **MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE**. Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. Rio de Janeiro – RJ, 1976. Revisitado em 28/04/2016.

SANTOS, A. **UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE FREIOS DE ATRITO PARA APLICAÇÃO EM FRENAGEM REGENERATIVA**. Universidade Estadual de Campinas, Campina – SP, 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000773556&fd=y>>. Revisitado em 28/05/2016.

SECIESP, Sindicato das Empresas de Conservação, Manutenção e Instalação de Elevadores do Estado de São Paulo. **QUANTA ENERGIA CONSUME O SEU ELEVADOR.** São Paulo – SP, junho de 2008. Disponível em: < [http://www.seciesp.com.br/UserFiles/File/Materia\\_06\\_08.pdf](http://www.seciesp.com.br/UserFiles/File/Materia_06_08.pdf) >. Revisitado em 28/04/2016.

SECTRON. **MANUAL DE MÁQUINAS DE TRACÇÃO.** São José dos Campos – SP. Disponível em: < <http://sectron.com.br/doc/M%e1quinas%20Sectron.pdf> >. Revisitado em 06/06/2016.

SCHINDLER. **MÁQUINA DE TRACÇÃO.** São Paulo – SP, 2010. Disponível em: < <http://www.schindler.com/content/dam/web/br/PDFs/MOD/maquina-tracao.pdf> >. Revisitado em 28/05/2016.

SCHINDLER. **MANUAL DE TRANSPORTE VERTICAL EM EDIFÍCIOS ELEVADORES DE PASSAGEIROS, ESCADAS ROLANTES, OBRA CIVIL E CÁLCULO DE TRÁFEGO.** São Paulo – SP. Disponível em: <<http://www.schindler.com/content/dam/web/br/PDFs/NI/manual-transporte-vertical.pdf>>. Revisitado em 28/05/2016.

SCHINDLER. **REGENERATIVE DRIVE UPGRADES: RETURNING ENERGY, IMPROVING PERFORMANCE.** Schindler modernization. Disponível em: < [http://www.schindler.com/content/ae/internet/en/modernization/\\_jcr\\_content/rightPar/downloadlist\\_0/downloadList/100\\_1375526033616.download.asset.100\\_1375526033616/Regenerative\\_Drive-May2010.pdf](http://www.schindler.com/content/ae/internet/en/modernization/_jcr_content/rightPar/downloadlist_0/downloadList/100_1375526033616.download.asset.100_1375526033616/Regenerative_Drive-May2010.pdf) >. Revisitado em 19/11/2016.

SIMABUKULO, L. A. N.; CORREA, L. F. S.; SANTOS, M. M. O.; MARTINS, M. **ENERGIA, INDUSTRIALIZAÇÃO E MODERNIDADE – HISTÓRIA SOCIAL.** Disponível em: < <http://www.energiaesaneamento.org.br/media/63129/03.pdf> >. Revisitado em 23/05/2016.

TAVARES, A. M.; FLORES, A. F. F.; OSÓRIO, J. O. M.; BLAUTH, Y. B. **UM ESTUDO SOBRE A FRENAGEM REGENERATIVA DE TRENS UTILIZANDO GERADOR LINEAR DE INDUÇÃO.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Porto Alegre – RS, 2010. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2010/Artigos/65844\\_1.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2010/Artigos/65844_1.pdf)>. Revisitado em 28/05/2016.

THYSSENKRUPP. **THYSSENKRUPP ELEVADORES APRESENTA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS EM TRANSPORTE VERTICAL DURANTE A ECOGERMA.** ThyssenKrupp Elevadores, junho de 2009. Disponível em: < [http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/pt-BR/release/thyssenkrupp\\_elevadores\\_apresenta\\_solucoes\\_sustentaveis\\_em\\_transporte\\_vertical\\_durante\\_a\\_ecogerma15/](http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/pt-BR/release/thyssenkrupp_elevadores_apresenta_solucoes_sustentaveis_em_transporte_vertical_durante_a_ecogerma15/) >. Revisitado em 16/05/2016.

TOLMASQUI, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UMA PROSPECTIVA.** Novos estudos – CEBRAP no.79 – São Paulo, novembro de 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003)>. Revisitado em 20/04/2016.

**WEG. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.** Jaraguá do Sul – SC. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-corrente-continua-50005370-catalogo-portugues-br.pdf>>. Revisitado em 26/05/2016.

**WOHLGEMUTH, A.; ROSA, M. K. APRIMORAMENTO DE UMA BANCADA AUTOMATIZADA DE UM FREIO DE FOUCAULT UTILIZADA PARA ENSAIOS DE MOTORES DE INDUÇÃO.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – PR, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/835/1/MD\\_COMIN\\_2012\\_1\\_05.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/835/1/MD_COMIN_2012_1_05.pdf)>. Revisitado em 27/05/2016.

**VORAX.** Disponível em: < <http://vorax.com.br/produto/freios-de-foucault/> >. Revisitado em 16/05/2016.

## ANEXO 1 – TARIFA ENERGÉTICA



**Diretoria de Comercialização**  
Superintendência Comercial - SPC  
Gerência de Faturamento - GRFA

BANDEIRA VERDE

OUTUBRO  
2016

Consumo	ICMS	R\$/kWh
B1 - Res. Baixa	Isento	0,1577603
Renda até 50 kWh	De 31 a 50 kWh	0,2704462
B1 - Residencial	Isento	0,1804433
Baixa Renda	De 31 a 100 kWh	0,3083314
	De 101 a 200 kWh	0,4639871
	De 201 a 220 kWh	0,4899380
	De 221 a 300 kWh	0,5564867
	De 301 a 500 kWh	0,5779673
	Acima de 500 kWh	0,6106727
B1 - Residencial até 50 kWh	Isento	0,4575319
B1 - Residencial de 51 a 200 kWh	12%	0,5233165
B1 - Residencial de 201 a 300 kWh	18%	0,5638523
B1 - Residencial de 301 a 500 kWh	21%	0,5865699
B1 - Residencial acima de 500 kWh	25%	0,6198994

Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 50 kWh (0%)	51 a 200 (12%)	201 acima (18%)
B2 - Rural	0,3202702	0,3863191	0,3846940
B2 - Cooperativa de eletrificação rural	0,3202702	0,3863191	0,3846940
B2 - Madrugada - irrigação (redução de 67%) sobre a Tarifa B2 - Rural para o período das 21:30h às 06:00h			
B3 - Serviço de Saneamento (redução de 15%)		0,4448190	0,4792744
B4a - Iluminação Pública (entrega no poste)		0,2878265	0,3101213
B4b - Iluminação Pública (entrega na lâmpada)		0,3139827	0,3383036
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 1000 (18%)	1001 acima (21%)
B3 - Comercial/Industrial	0,5233165	0,5638523	0,5865699
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 500 (18%)	501 acima (25%)
B3 - Poder Público	0,5233165	0,5638523	0,6198994

Tarifas do Grupo A - Convencional

Consumo (Alíquota do ICMS)		R\$/kWh	Até 200 (12%)	R\$/kWh	201 acima (18%)	R\$/kWh
A4 - Rural (redução de 10%)		0,3557298	17,9223580		19,1001119	0,3532842
A4 - Madrugada (redução de 80%)		-		0,0760510	-	0,0851742
A4 - Cooperativa (redução de 50%)		9,9568655		0,1876276	10,7281177	0,2129557
A4 - Saneamento (redução de 15%)		18,8268714		0,3350689	18,2378001	0,3619907
A4 - CELG (sem ICMS)		13,4611365		0,0377749		
A4 - Comercial/Industrial/Público		19,9137311		0,3952652		
A4 - Residencial		19,9137311		0,3852652		
A5 - Comercial/Industrial/Público		33,7766594		0,4094448		
A5 - Residencial		33,7766594		0,4094448		
Consumo (Alíquota do ICMS)			201 a 1000 (18%)		1001 acima (21%)	
A3a (30 a 44 kV)		21,4562354		0,4258714	22,3207091	0,4430298
A4 - Comercial/Industrial		21,4562354		0,4258714	22,3207091	0,4430298
A5 - Comercial/Industrial		38,3929770		0,4418989	37,8592532	0,4549450
Consumo (Alíquota do ICMS)			201 a 500 (18%)		501 acima (25%)	
A4 - Poder Público		21,4562354		0,4258714	23,5878512	0,4681805
A5 - Poder Público		38,3929770		0,4418989	40,008154	0,4856504
Consumo (ICMS)		201 a 300 (18%)		301 a 500 (21%)		501 acima (25%)
A4 - Residencial		21,4562354		0,4258714	22,3207091	0,4430298
A5 - Residencial		38,3929770		0,4418989	37,8592532	0,4549450

Legislação Vigente

Tarifa Resid. Baixa Renda: Res. 1937/2015-ANEEL, de 25/09/2015	
Pis/Pasep (0,81) + Cofins (3,73%)	=
Resolução nº 414/2010 da Aneel - Critérios para tombamento de energia	4,54
Desconto p/ serviços de saneamento: Decreto 62.724, de 23.12.88	
Tarifa da Madrugada: Resolução 414-ANEEL Art. 107, de 08/09/2010	
ICMS: Lei 7 de 28.12.88/Decreto 16.102.30.11 94, Lei 987.18.12.95	
Tarifa de Energia: Resolução 1937/2015-ANEEL, de 25/09/2015	
Taxas de Serviços: Resolução 1837/2015-ANEEL, de 25/08/2015	
CIP- Decreto GDF Nº 35.046 de 30.12.2013	
Redução da bandeira vermelha: Resolução 1946/2015-ANEEL, 25/09/2015	

# ANEXO 2 – FORMULÁRIO DE PROSPECÇÃO DE DADOS

## Formulário de Prospecção de Dados

### Características do Prédio

Nome do Edifício:

Endereço:

Nº de Pavimentos:    Nº de andares de subsolo:    Nº de apartamentos por andar:

Nº de Quartos por Apartamento:    Altura do Pé Direito [m]:

### Características do Sistema de Elevação

Nº de Elevadores:    Capacidade dos Elevadores:    Fabricante do Elevador:

Modelo do Elevador:    Fabricante do Motor:    Modelo do Motor:

Tipo de Acionamento:

### Característica do Fluxo Médio de Passageiros por Dia (Das 6 às 20 horas)

Viagens de Subida	
Ocupação (Nº de Passageiros)	Número de Viagens
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
Viagens de Descida	
Ocupação (Nº de Passageiros)	Número de Viagens
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	